n.ethz.ch/~juncfu

Thermodynamik I
Übungsstunde 06

Juncheng Fu (Elias)

08. November 2024

Übungsmaterial

- Die Übungsstunde wird von mir aufgezeichnet!

- Nicht offiziell
- (Screen recording) Lade ich später auf YT hoch
- Keine Garantie für Qualität, es ist nur in der Not zu nutzen (Falls Krank…)

Kein Zugriff auf n.ethz.ch/~

Letztes Wochenende funktionierte die n.ethz.ch/~ nicht.
Falls sowas wieder passiert, für die Studenten, die meine Übungsstunden online verfolgen, schreiben bitte dann E-Mail an mir unter: juncfu@ethz.ch

Sonst poste ich immer die Aufzeichnung auf YouTube unter diesem Link:
https://www.youtube.com/playlist?list=PLIWDxoFsVLvS2Fedaa4yFjWKa-SLiflot

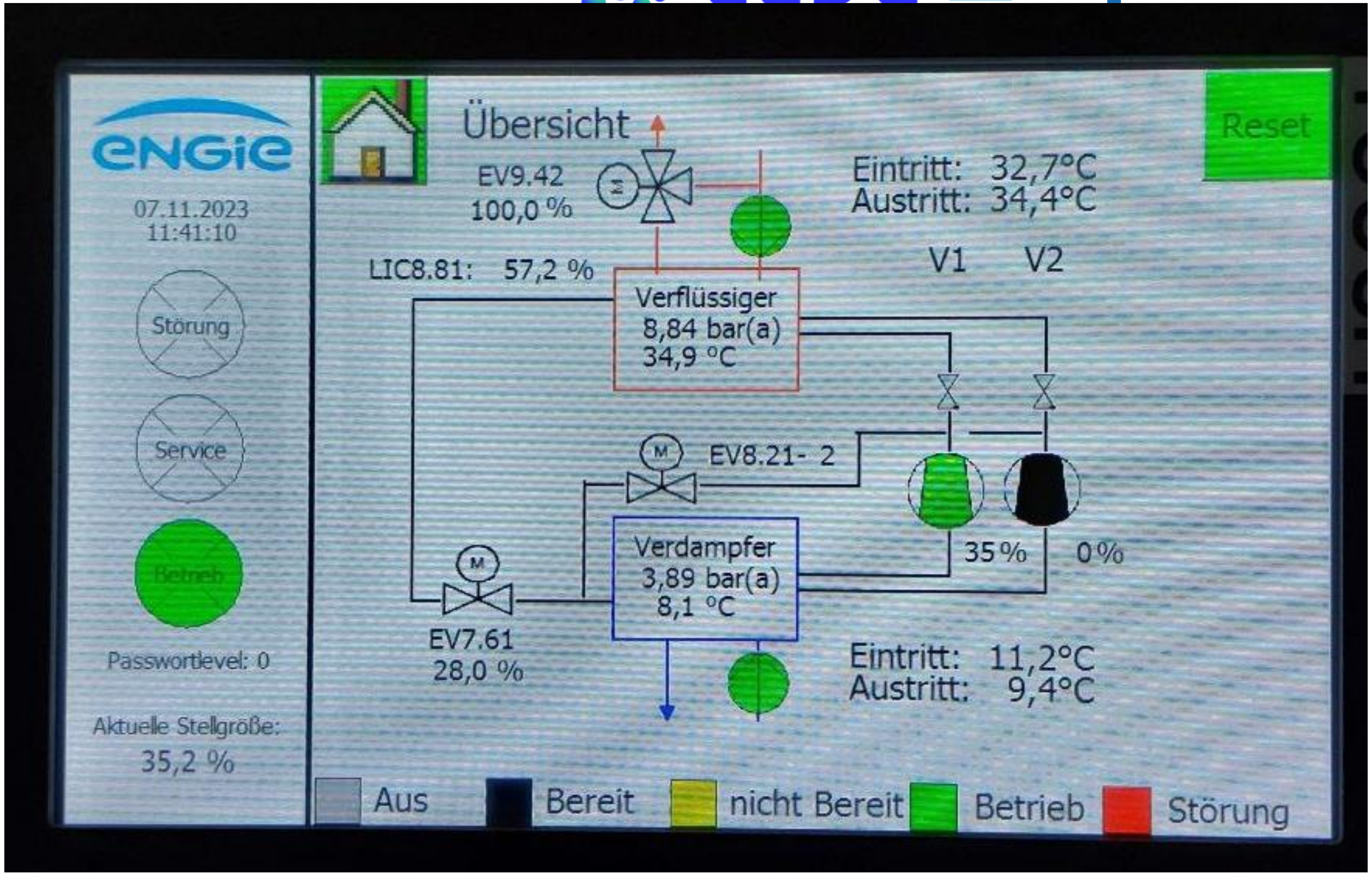
Or, you can hit that “like” button and subscribe to my channel, so you don’t miss any new video. Just kidding. xD

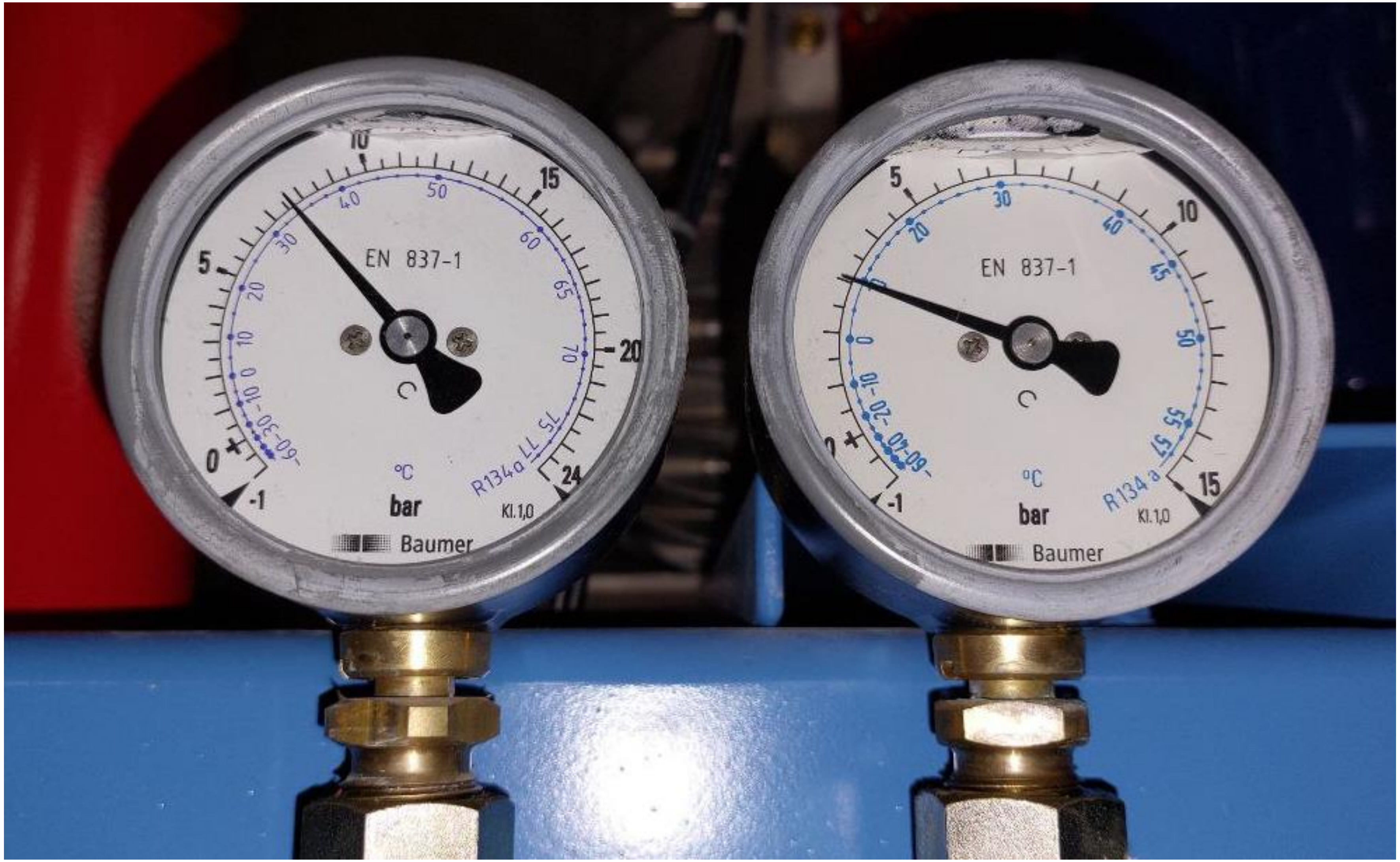
Organisatorisches:

Nächste Woche Probeprüfung
Achten auf die Info auf Moodle

8:15 – 9:22 (7 min Einlesezeit am Anfang)

Freiwillig


engie
07.11.2023
11:41:10
Störung
Service
Betrieb
Passwortlevel: 0
Aktuelle Stellgröße:
35,2 %
Übersicht
Reset
EV9.42
100,0 %
Eintritt: 32,7°C
Austritt: 34,4°C
V1
V2
LIC8.81: 57,2 %
Verflüssiger
8,84 bar(a)
34,9 °C
EV8.21- 2
35 %
0 %
Verdampfer
3,89 bar(a)
8,1 °C
EV7.61
28,0 %
Eintritt: 11,2°C
Austritt: 9,4°C
Aus
Bereit
nicht Bereit
Betrieb
Störung



Wieso ein Zeiger für Druck und Temperatur?

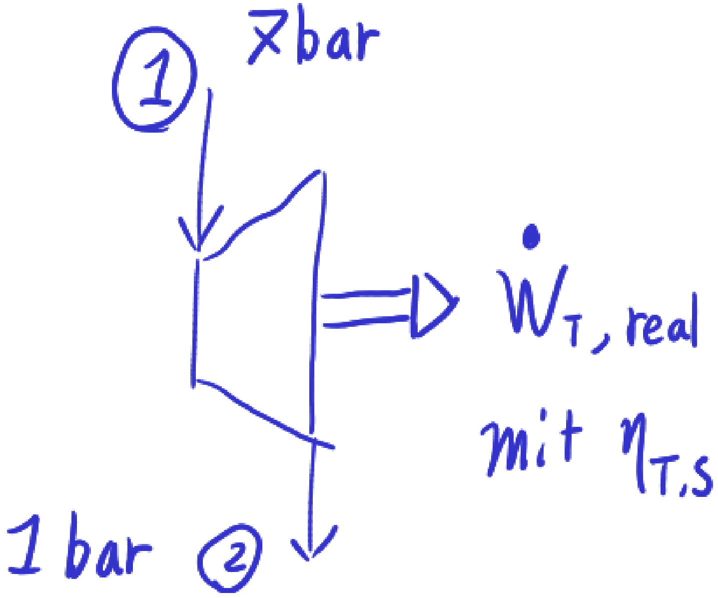
Bei **Verdampfer** und **Verflüssiger** ist Arbeitsmedium in **ND**.

Dort P und T gekoppelt

Problem Aufhebung:

Aus ZF

Isentroper Wirkungsgrad (Turbine) $\eta_{T,s} = \frac{w_{t,12}}{w_{t,12}^{rev}}$, wenn adiabat und $\Delta ke + \Delta pe = 0$: $\eta_{T,s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,s}}$

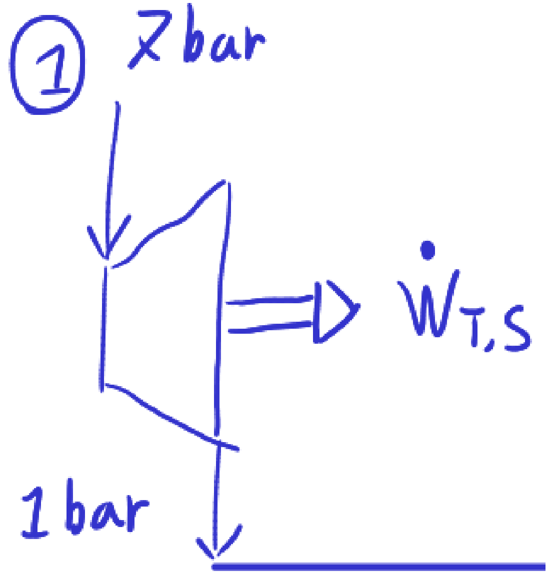


mit $\eta_{T,s} = 80\%$

Problem Aufhebung:

Aus ZF

Isentroper Wirkungsgrad (Turbine) $\eta_{T,s} = \frac{w_{t,12}}{w_{t,12}^{rev}}$, wenn adiabat und $\Delta ke + \Delta pe = 0$: $\eta_{T,s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,s}}$



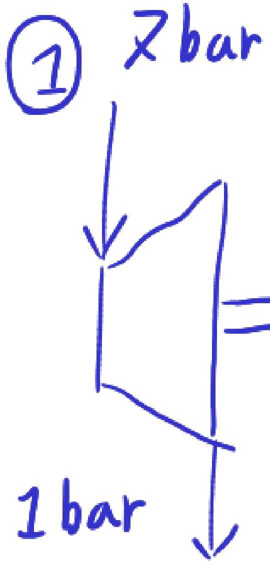
$W_{T,s}$: insentrope Arbeit => Adiabat, Entropie Erzeugung = 0 rev. Arbeit

Entropie bleibt erhaltend $\Delta S = 0$

Problem Aufhebung:

Aus ZF

Isentroper Wirkungsgrad (Turbine) $\eta_{T,s} = \frac{w_{t,12}}{w^{rev}_{t,12}}$, wenn adiabat und $\Delta ke + \Delta pe = 0$: $\eta_{T,s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,s}}$



$\dot{W}_{T,s} = $

$\dot{W}_{T,real} = \dot{W}_{T,s} \cdot \eta_{T,s}$

$\dot{W}_{T,s} - \dot{W}_{T,real}$

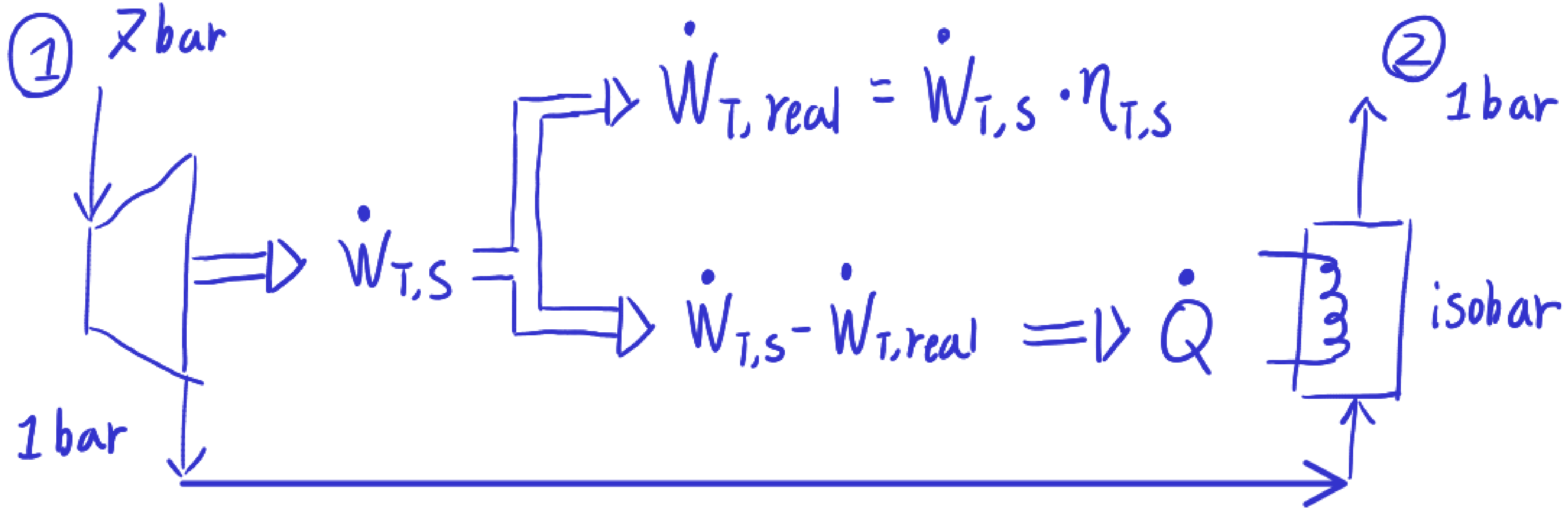
$W_{T,s}$: insentrope Arbeit => Adiabat, Entropie Erzeugung = 0 rev. Arbeit

Entropie bleibt erhaltend $\Delta S = 0$

Problem Aufhebung:

Aus ZF

Isentroper Wirkungsgrad (Turbine) $\eta_{T,s} = \frac{w_{t,12}}{w_{t,12}^{rev}}$, wenn adiabat und $\Delta ke + \Delta pe = 0$: $\eta_{T,s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,s}}$



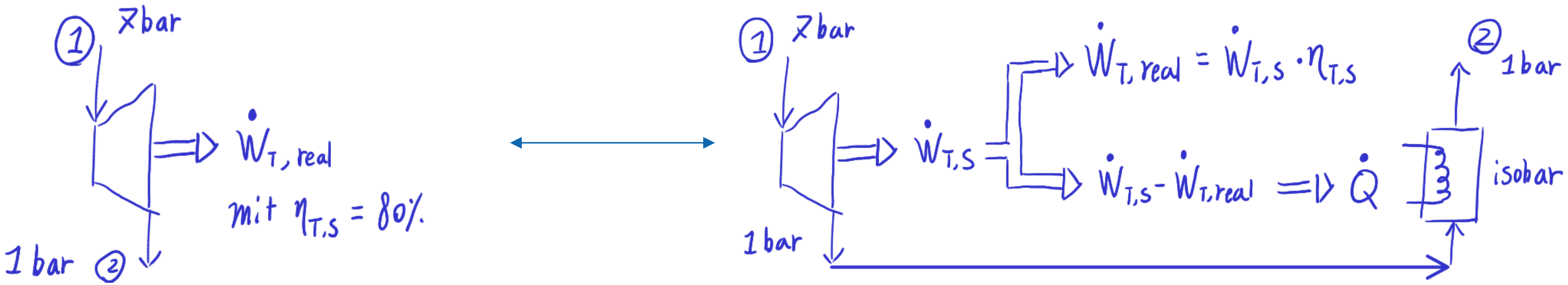
$W_{T,s}$: insentrope Arbeit ⇒ Adiabat, Entropie Erzeugung = 0 rev. Arbeit

Entropie bleibt erhaltend $\Delta S = 0$

Problem Aufhebung:

Aus ZF

Isentroper Wirkungsgrad (Turbine) $\eta_{T,s} = \frac{w_{t,12}}{w_{t,12}^{rev}}$, wenn adiabat und $\Delta ke + \Delta pe = 0$: $\eta_{T,s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,s}}$



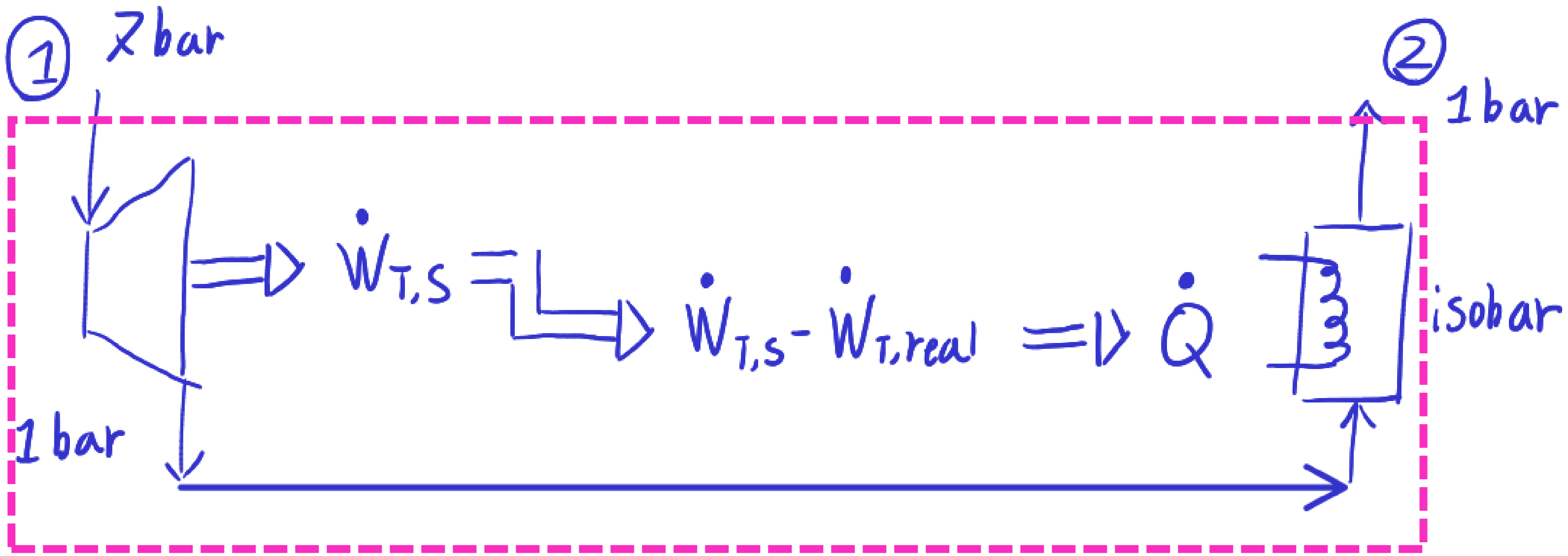
Was passiert wenn $\eta_{T,s} = 0\%$?

Problem Aufhebung:

Aus ZF

Isentroper Wirkungsgrad (Turbine) $\eta_{T,s} = \frac{w_{t,12}}{w_{t,12}^{rev}}$, wenn adiabat und $\Delta ke + \Delta pe = 0$: $\eta_{T,s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,s}}$

Was passiert wenn $\eta_{T,s} = 0\%$?

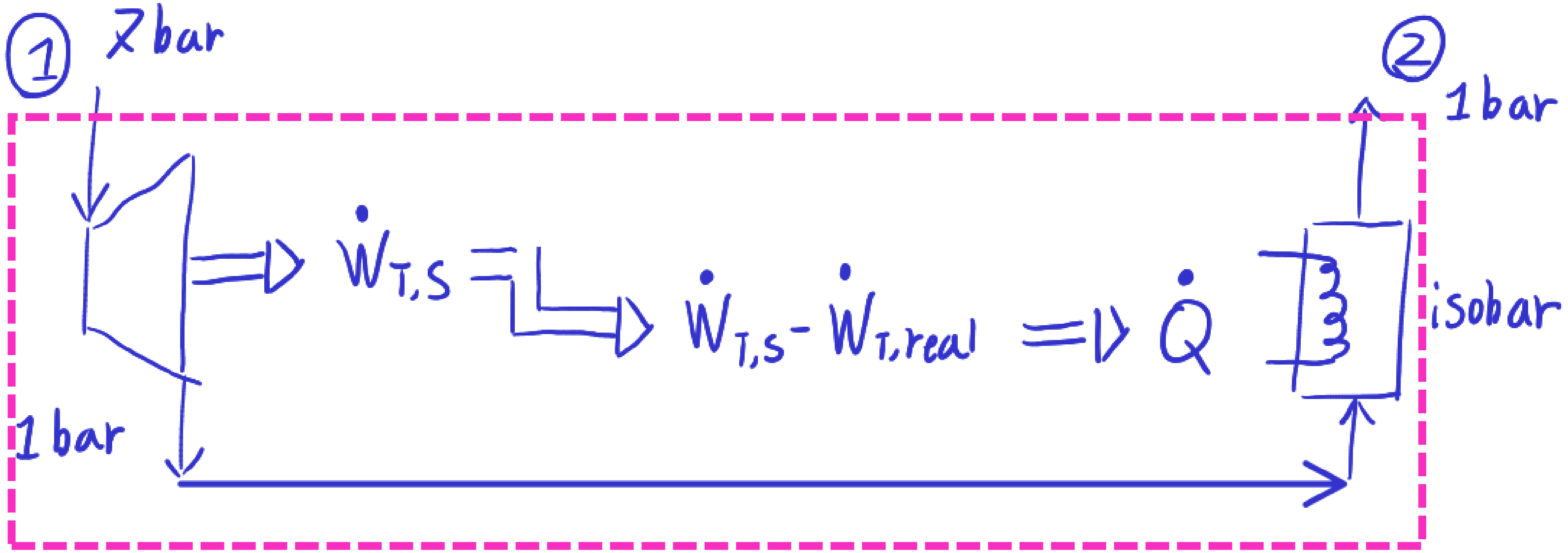


Problem Aufhebung:

Aus ZF

Isentroper Wirkungsgrad (Turbine) $\eta_{T,s} = \frac{w_{t,12}}{w_{t,12}^{rev}}$, wenn adiabat und $\Delta ke + \Delta pe = 0$: $\eta_{T,s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,s}}$

Was passiert wenn $\eta_{T,s} = 0\%$?



$$\cancel{\frac{dE}{dt}} = \dot{m}(h_e - h_a) + \cancel{\dot{Q}} - \cancel{\dot{W}}$$

$\frac{dE}{dt} \to 0$: Stationär

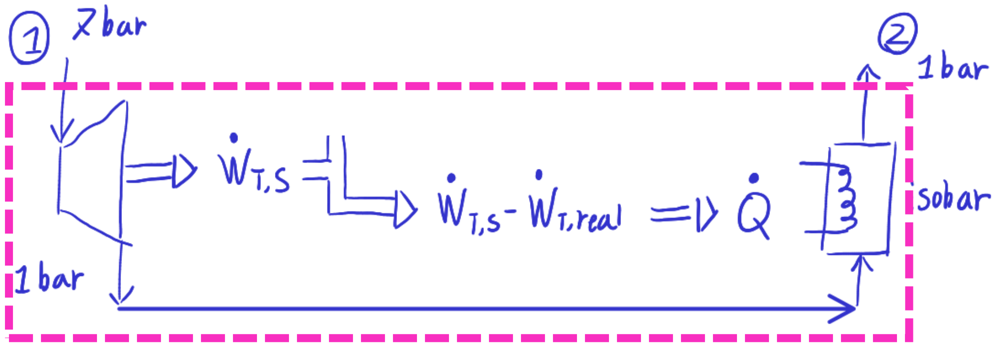
$\dot{Q} \to 0$: für Turbine, generell Adiabat

$\dot{W} \to 0$, $\eta = 0$ Keine Arbeit Output

Problem Aufhebung:

Aus ZF

Isentroper Wirkungsgrad (Turbine) $\eta_{T,s} = \frac{w_{t,12}}{w_{t,12}^{rev}}$, wenn adiabat und $\Delta ke + \Delta pe = 0$: $\eta_{T,s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,s}}$



Nur Druck hat sich verringert, Energie ist immer noch da laut Energiebilanz, wir haben nichts verloren, oder?

7bar Luft kann ich Kartoffeln Kanonen schießen.
1bar Luft kann ich einatmen.

Trotz gleicher Energie, fehlt diese „Umph~“

Durch Druck Verringerung, haben wir Entropie erzeugt.
Dadurch hat die „Qualität“ unsere Energie verschlechtert.

Mehr zur Entropie in 2 Wochen

Lösungsansatz zu Isentrope Wirkungsgrad Probleme

In Appendix dieser Woche

Appendix

Lösungsansatz(Inspiration): Isentroper Wirkungsgrad Problem

ZB. isentrope Wirkungsgrad $\eta_{T,s}$ geg.

T_1 geg.. und Druck Änderung geg. $P_1 \rightarrow P_2$, IG, ges. Arbeit

Aus ZF

Isentroper Wirkungsgrad (Verdichter) $\eta_{V,s} = \frac{w_{t,12}^{rev}}{w_{t,12}}$, wenn adiabat und $\Delta ke + \Delta pe = 0$: $\eta_{V,s} = \frac{h_1 - h_{2,s}}{h_1 - h_2}$ ④

Isentroper Wirkungsgrad (Turbine) $\eta_{T,s} = \frac{w_{t,12}}{w_{t,12}^{rev}}$, wenn adiabat und $\Delta ke + \Delta pe = 0$: $\eta_{T,s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,s}}$

Zustandsänderungen

Polytrope ③	$pV^n = \text{const.}$	(n: Polytropenexponent)
Isobare	$p = \text{const.}$	$(n \equiv 0)$
Isotherme	$T = \text{const.}$	
Isochore	$v = \text{const.}$	$(n \rightarrow \infty)$
Isenthalpe	$h = \text{const.}$	
Isentrope	$s = \text{const.}$	

Zustandsänderungen idealer Gase

Isotherme	$n = 1$
Isentrope ③	$n = \kappa = \frac{c_p^{ig}}{c_v^{ig}}$
Polytropes Temperaturverhältnis	$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1}$

Ideales Gas $(pV = n\overline{R}T \quad pv = RT \quad pV = mRT)$

$\overline{R} = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$ ① $R = c_p^{ig} - c_v^{ig} = \frac{\overline{R}}{M}$

$c_v^{ig}(T) = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v$

$c_p^{ig}(T) = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p$

② $\kappa = \frac{c_p^{ig}}{c_v^{ig}}$

$u^{ig}(T_2) - u^{ig}(T_1) = \int_{T_1}^{T_2} c_v^{ig}(T)\,dT$

$h^{ig}(T_2) - h^{ig}(T_1) = \int_{T_1}^{T_2} c_p^{ig}(T)\,dT$

$s^{ig}(T_2, p_2) - s^{ig}(T_1, p_1) = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_p^{ig}(T)}{T}\,dT - R\ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$

Bei Verwendung von Tabellenwerten:

$s^{ig}(T_2, p_2) - s^{ig}(T_1, p_1) = s^0(T_2) - s^0(T_1) - R\ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$

Durch Beziehung ① get C_p, C_v mit R

② get $K = \frac{C_p}{C_v}$

isentrope Exponente

③ mit Druckverhältnis P_1, P_2, oder Volumenverhältnis

Setzen $n = K$ get Temp. Verhältnis.

T_1 muss noch bekannt sein

⇓

$T_{2,s}$ wurde durch isentrope ZÄ bestimmt.

Es ist unter der Annahme, Verlauf isentrope ist, deswegen $T_{2,s}$ markiert als "Temp. Unter Ideal Fall"

④ Mit $T_{2,s}$, durch TAB oder $h_1 - h_{2s} = C_p(T_1 - T_{2,s})$ um $h_{2,s}(T_{2,s})$ zu erhalten.

Setzen $\eta_{T,s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,s}}$ ein um h_2 zu bekomen

reale Enthalpie beim Ausgang

Appendix

Setzen dann h_2 in Bilanzgleichung um ges. Größe zu berechnen.

(Temp. Arbeit ... jenach dem)

Falls Arbeitsmedium kein IG, sondern Wasser, Dampf ... (Realstoff)

Dann TAB, Key $\Delta S = 0$ Suchen $S_{2s} = S_1$ ← Eingang

für Ausgangbedinung zB. P_2, V_2 ....

zB.

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
	p = 5.0 bar = 0.50 MPa (T_{sat} = 151.86°C)			
Sat.	0.3749	2561.2	2748.7	6.8213
180	0.4045	2609.7	2812.0	6.9656
200	0.4249	2642.9	2855.4	7.0592
240	0.4646	2707.6	$\boxed{2939.9}$	$\boxed{7.2307}$ ← $S_{2s} = S_1$
280	0.5034	2771.2	3022.9	7.3865
320	0.5416	2834.7	3105.6	7.5308

Tabilierte h mit $S_{2s} = S_1$ ist $h_{2,s}$

dann Analog wie Vorher:

Setzen $\eta_{T,s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,s}}$ ein um h_2 zu bekomen

reale Enthalpie beim Ausgang

Key Take Away:

$$\boxed{\eta_{T,s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,s}}}$$

$S_1 = S_{2,s}$ gekoppelte Entropie ist gleich

Es kam bei meiner Prüfung an mit IG, ich habe es verkackt, es ist eigentlich nicht schwer zu lösen. Deswege möchte ich gerne, dass ihr alle solche Probleme auch bei der Prüfung lösen könnt, falls es kommt.

Bsp. für tech. Arbeit
in Appendix

Appendix

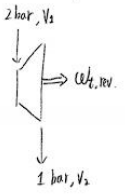
Tech. Arbeit Bsp. an Wasser Turbine

Spezifische technische Arbeit (reversibler stationärer Fliessprozess) $\quad w_{t,12}^{rev} = \frac{W_{t,12}^{rev}}{\dot{m}} = -\left(\int_1^2 v\,dp + \Delta ke + \Delta pe\right)$

- für Polytrope, $n = 1$: $\quad \left(\int_1^2 v\,dp\right)_{n=1} = -\left(\int_1^2 p\,dv\right)_{n=1}$
- für Polytrope, $n \neq 1$: $\quad \left(\int_1^2 v\,dp\right)_{n\neq 1} = -n\left(\int_1^2 p\,dv\right)_{n\neq 1}$

▶ Turbine (Wasser Turbine als Bsp.)

Annahme. ⟶ Ideale Flüssigkeit inkompressible. $V(T) \Rightarrow V = const.$



$$\cancel{\frac{dE}{dt}} = \dot{m}\left(h_e - h_a + \cancel{\Delta KE} + \cancel{\Delta PE}\right) + \cancel{\dot{Q}} - \dot{W}_{t,n}$$

0, Stationäre

0, Adiabat

Annahme um zu Vereinfachen

v=const, unsere Annahme.

$V_1 = V_2$

Aus ZF für Tech. Arbeit

Polytrope $n \neq 1$ $\quad \left(\int_1^2 v\,dp\right)_{n\neq 1} \overset{!}{=} V\int_1^2 dp$

NICHT Volumenarbeit !

$$= V\int_{P_1}^{P_2} dp = V\left[P_2 - P_1\right]$$

1 bar, 2 bar

$P_2 < P_1$

$\Rightarrow$ negativ $\ominus$

Aus ZF:

$$\boxed{w_{t,12}^{rev} = \frac{\dot{W}_{t,12}^{rev}}{\dot{m}} = -\left(\int_1^2 v\,dp + \cancel{\Delta ke} + \cancel{\Delta pe}\right)} = \ominus \cdot \left(\ominus\right) = (+)$$

Vorzeichen achten !

ergibt sich positive Arbeit.

$\Rightarrow$ Turbine leistet Arbeit und gibt sie aus.

gilt auch für Gase.

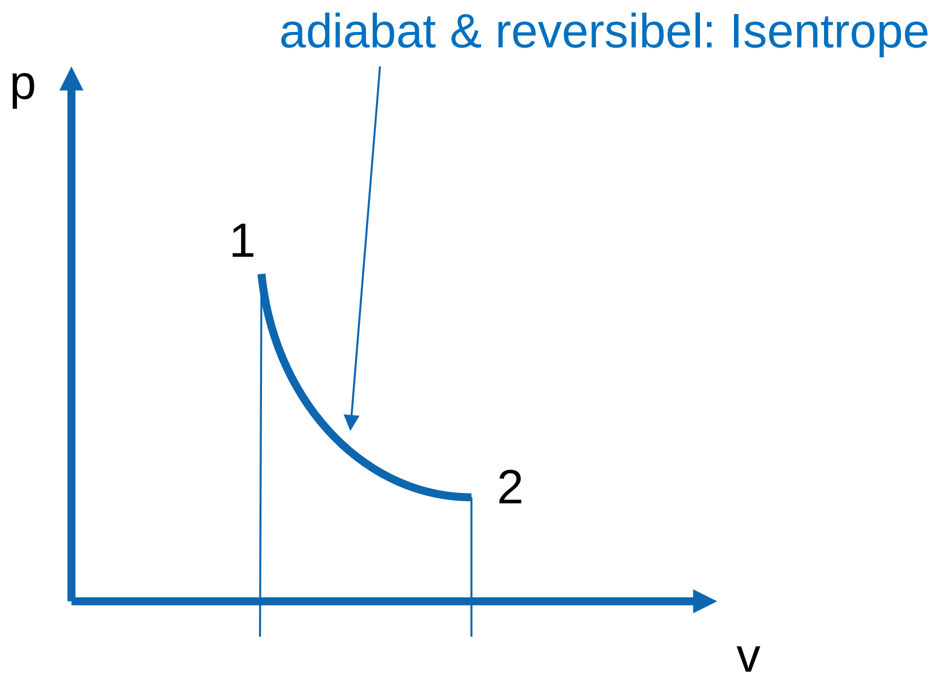
hier nur zu Demo. Wasser genommen.

$$0 = \underbrace{\dot{m}(h_e - h_a)}_{\overset{!}{=}\oplus} - \oplus \Rightarrow h_e - h_a > 0$$

$h_e > h_a$ $\quad$ Sanity checked !

Kreisprozesse & Dissipation

Reversibel & Irreversibel



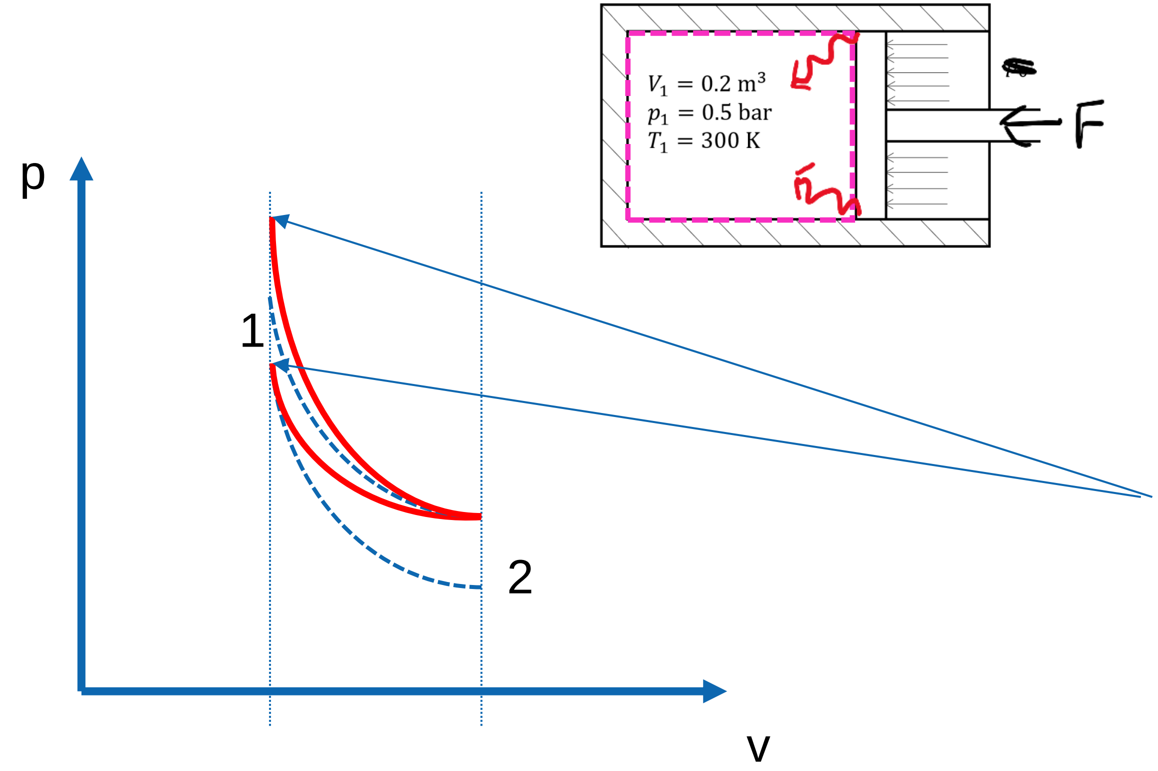
Reibungsfreie & adiabat Zylinder:
1->2. Isentrope Expansion
2->1. Isentrope Kompression

Endet wieder auf Anfangszustand
mit gleichem Druck und Temperatur.
Quasi eine perfekte Federung

Oder wenn man ein Objekt hoch werfen in Gravitationsfeld,
Kommt es runter mit der gleichen kinetischen Energie.

Verlustfreie Verlauf: Reversibel
„Verlust“ nicht in Sinne von Energie (Energie bleibt immer erhalten!),
sondern „Qualität“ der Energie. (z.B. Kinetische Energie unter Reibung zu Wärme umgewandelt)

Reversibel & Irreversibel



reibungsbehafteten & adiabat Zylinder:
1->2. Expansion

Durch Reibung, IG wird wärmer als rev. Fall

2->1. Kompression

Einmal durchlaufen,
Endet nicht auf gleichen Zustand.

Teil der kinetischen Arbeit wird durch Reibung zu Wärme umgewandte.

Die gleiche Art der Energie bekomme ich nie wieder zurück, Irreversibel

Isentrope: adiabat & reversibel

Irreversibel Prozessverlauf

Reversibel & Irreversibel

Irreversibilität verringert Wirkungsgrad,

„Irreversibel“ = „Entropie Erzeugung“

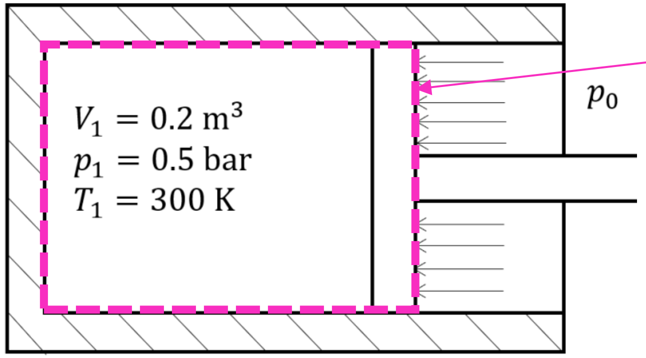
In der Praxis: es gibt nur irreversibel Prozesse, Verlust ist immer da.

Dissipation Bsp. am Kolben

Arbeit

$$\boxed{w_{12}} = w_{12}^{\mathrm{rev}} - \varphi_{12} \qquad \text{mit } \varphi_{12}\text{: Dissipation}$$

Verlust Term
Dissipation **immer Positive**!



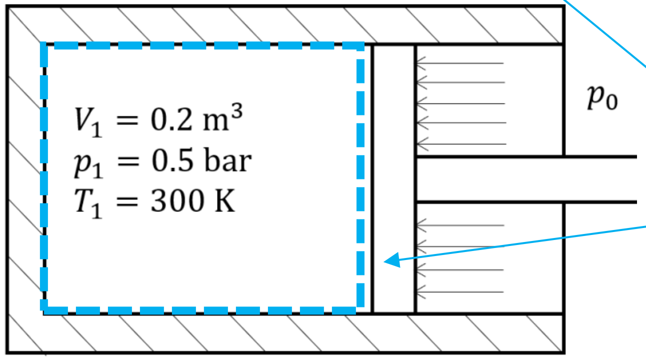
Kolben Arbeit ist diese Volumenarbeit um ganze Sys.
eigentliche Output

Dissipation Bsp. am Kolben

Arbeit

$\boxed{w_{12}} = \boxed{w_{12}^{\mathrm{rev}}} - \varphi_{12}$ mit φ_{12}: Dissipation

Verlust Term
Dissipation **immer Positive**!



Arbeitsmedium-Arbeit ist diese Volumenarbeit um Arbeitsmedium,
Annahme: Kein Verlust im Gas, (jedoch in Realität, zw. Gas Moleküle gibt es Reibung)

Unter ideale Bedingung und falls kein Verlust an Kolben, dann ist der eigentliche Output(Kolbenarbeit) gleich Arbeitsmedium-Arbeit.

Dissipation Bsp. am Kolben

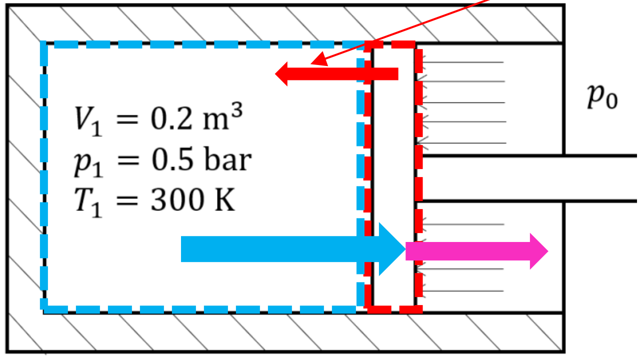
Arbeit

$$\boxed{w_{12}} = \boxed{w_{12}^{\mathrm{rev}}} - \boxed{\varphi_{12}}$$ mit φ_{12}: Dissipation

vgl. $\eta_{\mathrm{T},s} = \frac{\boxed{w_{\mathrm{t},12}}}{\boxed{w_{\mathrm{t},12}^{\mathrm{rev}}}},$

Verlust Term
Dissipation immer Positive!

Verlust an Kolben

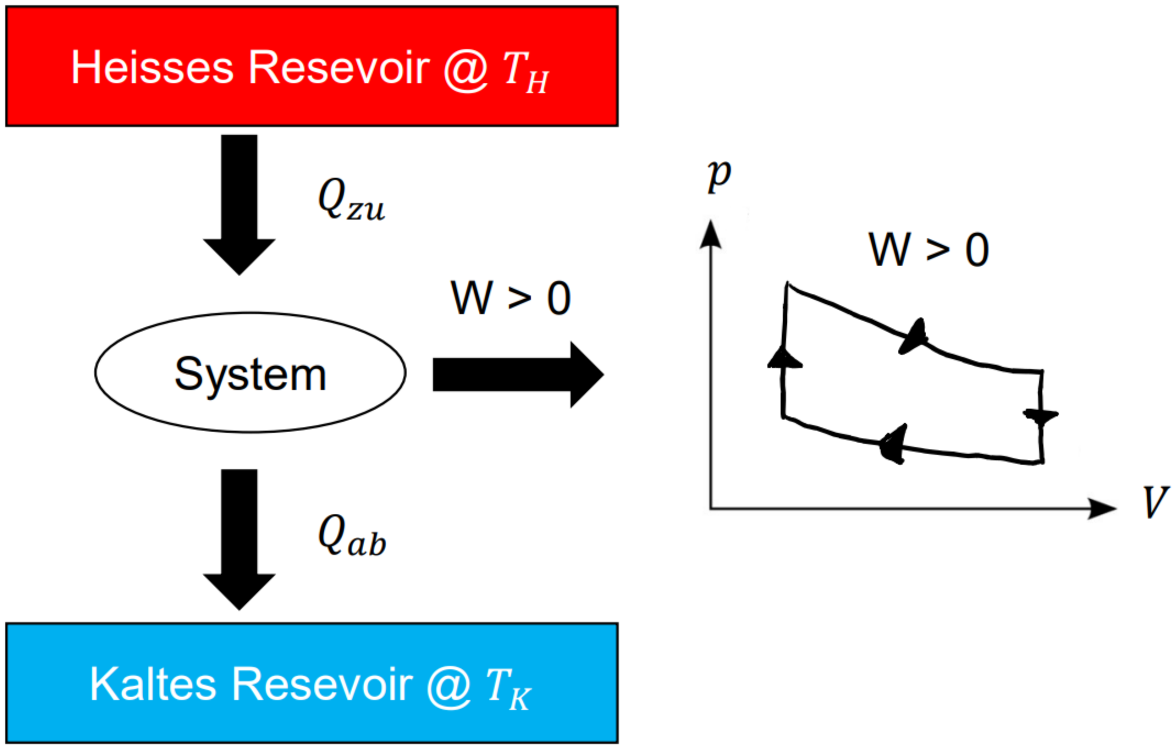


Linken, Rechten Seiten Kolbens gibt es Druckunterschied,
(Wegen Reibungskraft an Kolben, Sehe Vorlesung)

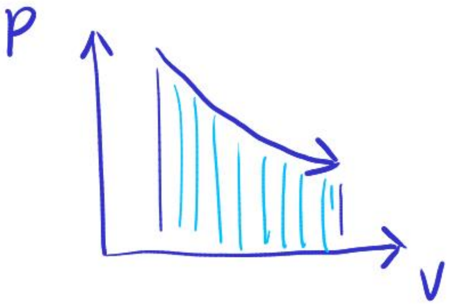
Summe der Volumenarbeit beiden Seiten der Kolben $\neq 0$
Kolben hat Energie aufgenommen.
(hier ist sie, wegen Reibung, zu Wärme direkt umgewandelt)

Kreisprozess

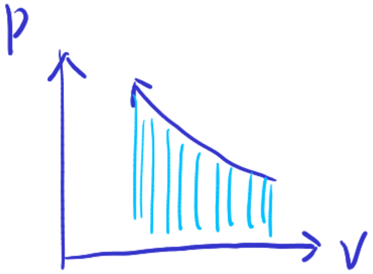
Wärmekraftmaschine



n.ethz.ch/~mloetscher



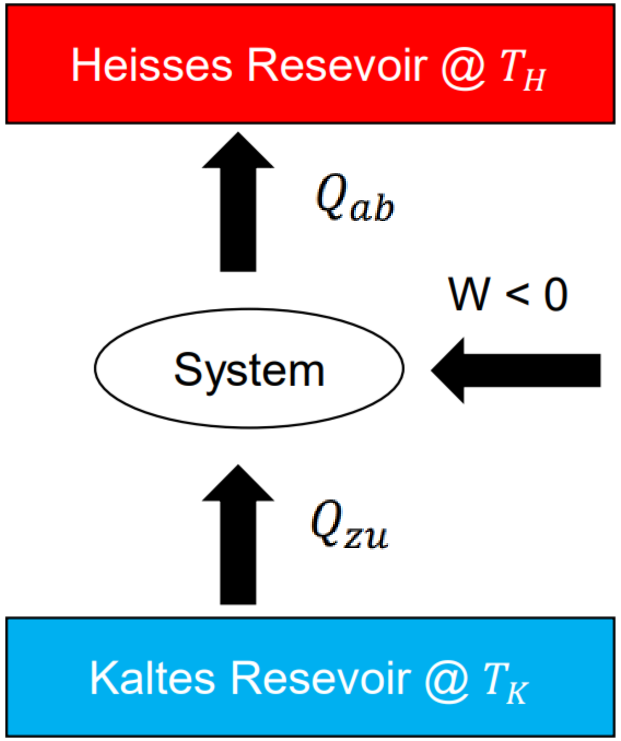
$$\int p\,dV = W_V > 0$$

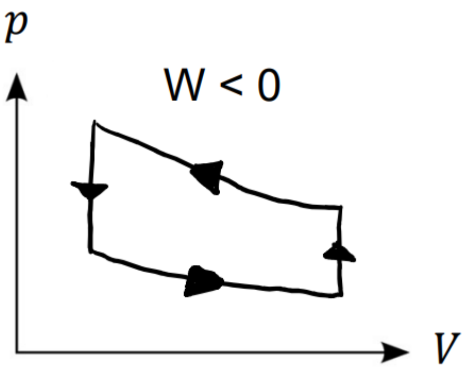


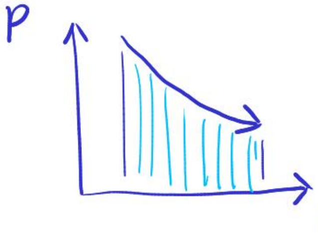
$$\int p\,dV = W_V < 0$$

Kreisprozess

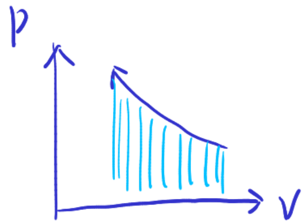
Kältemaschine / Wärmepumpe







$\int p\,dV = W_V > 0$



$\int p\,dV = W_V < 0$

Bsp. Klimaanlage

n.ethz.ch/~mloetscher

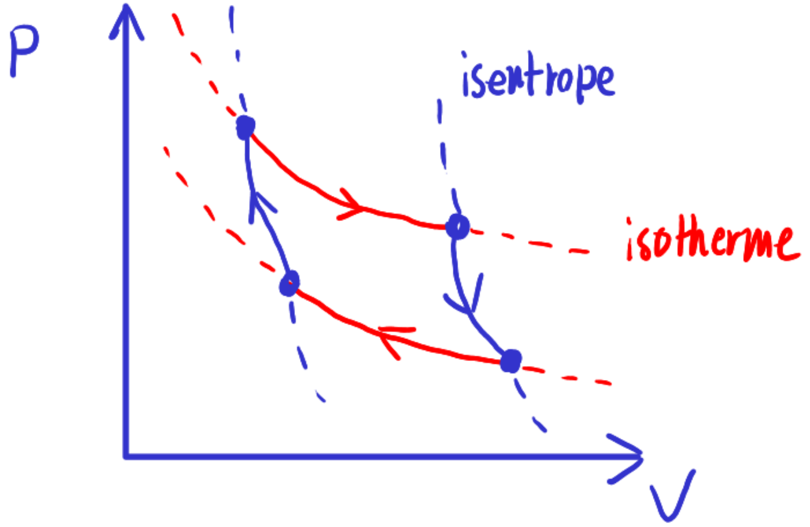
Carnot-Prozess

Carnot-Prozess Für Wärme-Kraft Maschine

1. isotherme Expansion
2. isentrope Expansion
3. isotherme Kompression
4. isentrope Kompression

2X Expansion 2X Kompression

isotherm, isentrope Wechselhaft.



Steigung für Isotherm, isentrop

Herleitung sehe Notizen 2. übung

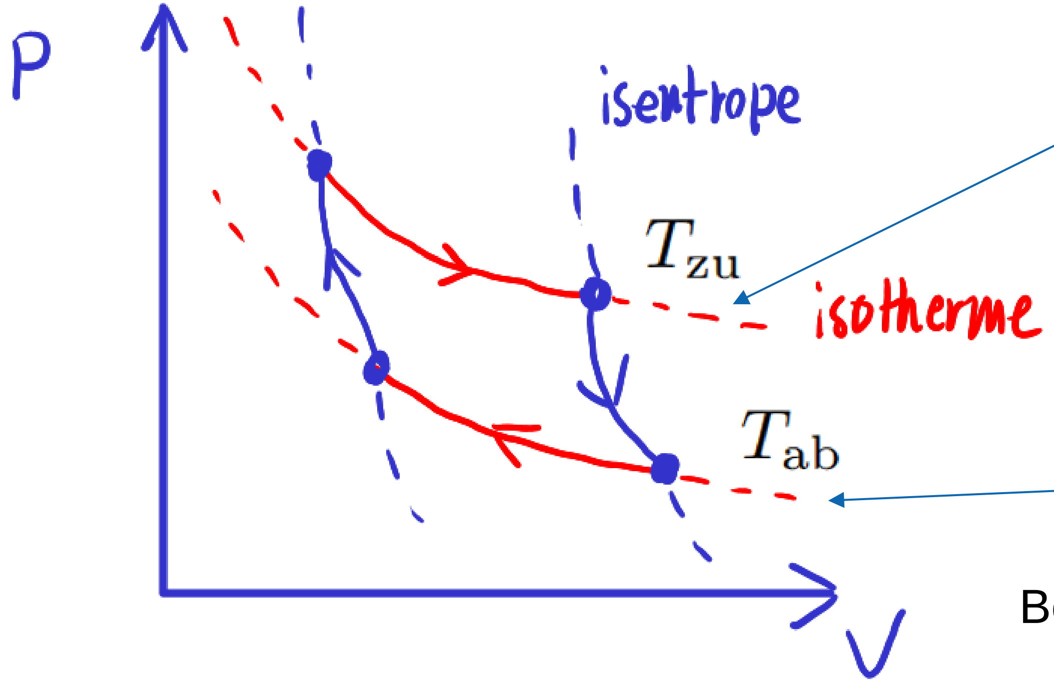
Carnotscher Wirkungsrad

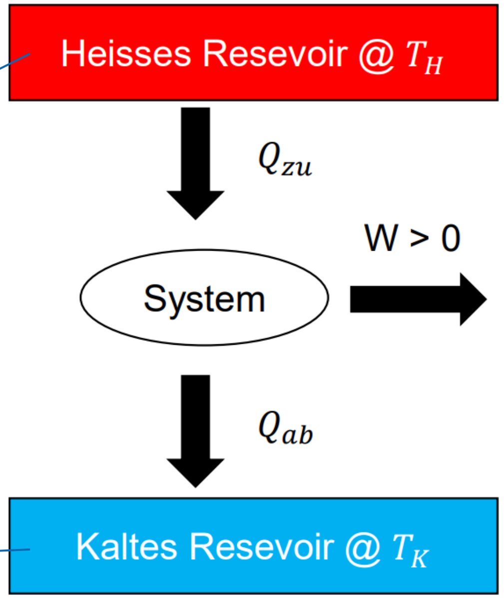
Auf ZF

Carnotscher Wirkungsgrad

$$\eta_{\mathrm{Carnot}} = 1 - \frac{T_{\mathrm{ab}}}{T_{\mathrm{zu}}}$$

Carnot-Prozess



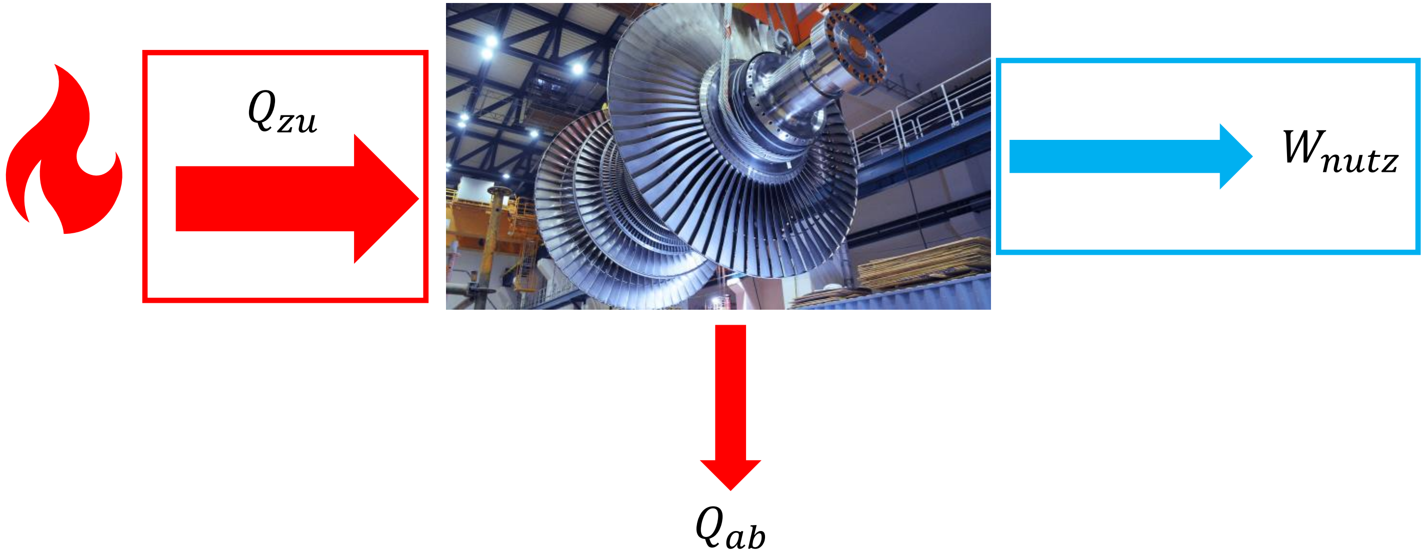


Beide Isotherme (Temperatur) definieren η_{Carnot}

Thermischer Wirkungsrad

Thermischer Wirkungsgrad

$$\eta_{\mathrm{th}} = \frac{\boxed{|W_{\mathrm{nutz}}|}}{\boxed{|Q_{\mathrm{zu}}|}}$$



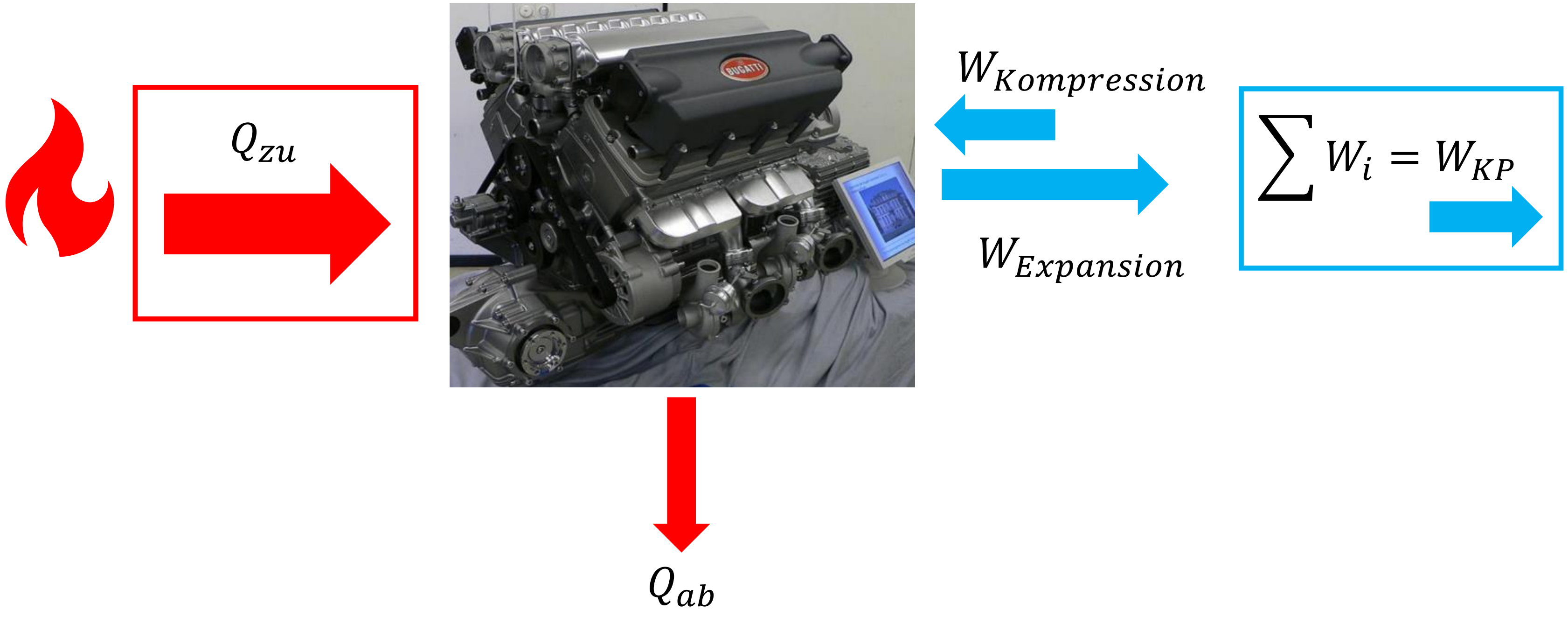
Thermischer Wirkungsrad

Thermischer Wirkungsgrad

$$\eta_{\mathrm{th}} = \frac{|W_{\mathrm{nutz}}|}{|Q_{\mathrm{zu}}|}$$

für Kreisprozesse:

$$\eta_{\mathrm{th,KP}} = \frac{\boxed{|W_{\mathrm{KP}}|}}{\boxed{|Q_{\mathrm{zu}}|}} = 1 - \frac{|Q_{\mathrm{ab}}|}{|Q_{\mathrm{zu}}|}$$



Kann man auch durch Energiebilanz leicht herleiten

Carnotscher Wirkungsrad

Carnotscher Wirkungsgrad

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_{\text{ab}}}{T_{\text{zu}}}$$

Bestmöglicher thermische Wirkungsgrad mit geg. Temperatur Differenz

Carnotscher Wirkungsgrad η_{Carnot} $\geq$ Thermischer Wirkungsgrad η_{th}

Falls Prozess Carnot-prozess:

$$\eta_{th} = \eta_{Carnot}$$

$$1 - \frac{|Q_{\text{ab}}|}{|Q_{\text{zu}}|} = 1 - \frac{T_{\text{ab}}}{T_{\text{zu}}} \Rightarrow \frac{|Q_{ab}|}{|Q_{zu}|} = \frac{T_{ab}}{T_{zu}}$$

Wirkungsrad ZF

Beschreibt Umwandlungsgrad von Wärme zu Arbeit

Thermischer Wirkungsgrad $\eta_{\text{th}} = \dfrac{|W_{\text{nutz}}|}{|Q_{\text{zu}}|}$

für Kreisprozesse: $\eta_{\text{th,KP}} = \dfrac{|W_{\text{KP}}|}{|Q_{\text{zu}}|} = 1 - \dfrac{|Q_{\text{ab}}|}{|Q_{\text{zu}}|}$ ← Für KP, alle Arbeit summieren

Carnotscher Wirkungsgrad $\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \dfrac{T_{\text{ab}}}{T_{\text{zu}}}$ ← Bester therm. Wirkungsgrad mit Temp. Differenz

Vergleich zw. rev.(ideale) Arbeit und realer Arbeit

- Isentroper Wirkungsgrad (Verdichter) $\eta_{V,s} = \dfrac{w_{\text{t,12}}^{\text{rev}}}{w_{\text{t,12}}}$, wenn adiabat und $\Delta ke + \Delta pe = 0$: $\eta_{V,s} = \dfrac{h_1 - h_{2,\text{s}}}{h_1 - h_2}$
- Isentroper Wirkungsgrad (Turbine) $\eta_{T,s} = \dfrac{w_{\text{t,12}}}{w_{\text{t,12}}^{\text{rev}}}$, wenn adiabat und $\Delta ke + \Delta pe = 0$: $\eta_{T,s} = \dfrac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,\text{s}}}$

Appendix dieser Woche noch kurz Info über Leistungsziffer für Wärmepumpe und Kältemaschine.

Vorrechenübung

OCESS SYSTEMS ENGINEERING

Vorrechenübung

Aufgabe 6.1 ●●○ Carnot-Prozess

1 kg Luft durchläuft einen Carnot-Prozess mit einem thermischen Wirkungsgrad η_{th} von 60 %. Die während der isothermen Expansion dem Prozess zugeführte Wärme Q_{12} beträgt 40 kJ. Am Anfang der isothermen Expansion beträgt der Druck $p_1 = 7\,\text{bar}$ und das Volumen $V_1 = 0.24\,\text{m}^3$.

Annahmen:

- Luft kann als ideales Gas betrachtet werden.
- Potentielle und kinetische Energien sind vernachlässigbar.

LESE epse ENERGY & PROCESS SYSTEMS ENGINEERING

a) Skizzieren Sie den Prozess qualitativ in einem p-V-Diagramm. Kennzeichnen Sie alle relevanten Isothermen sowie alle dem System zu- und abgeführten Wärmen und Arbeiten.

⇒ Ez points in der Prüfung

Nur 1. Zustand und 1 → 2 isotherme Expansion geg.

Wie kann man vollständige Diagramm skizzieren?

einen Carnot-Prozess definiert schon verschiedene Prozesse

a) Skizzieren Sie den Prozess qualitativ in einem p-V-Diagramm. Kennzeichnen Sie alle relevanten Isothermen sowie alle dem System zu- und abgeführten Wärmen und Arbeiten.

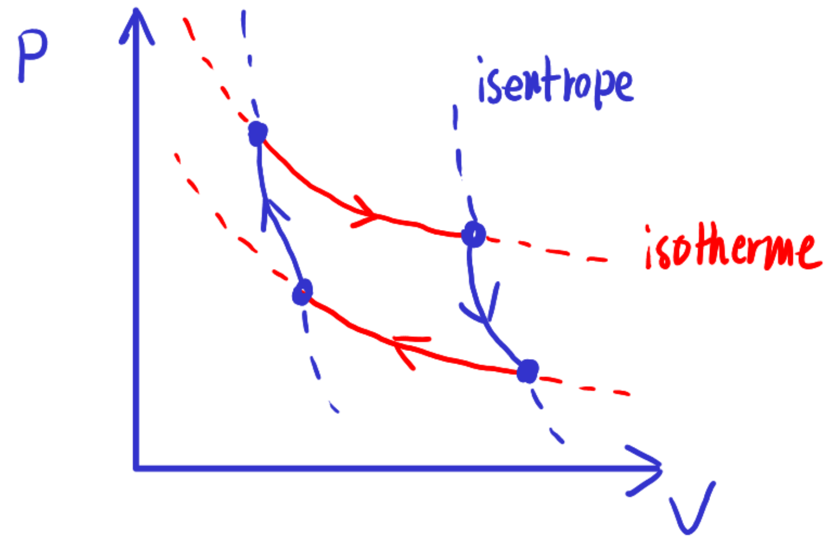
einen Carnot-Prozess definiert schon verschiedene Prozesse

Carnot - Prozess

1. isotherme Expansion
2. isentrope Expansion
3. isotherme Kompression
4. isentrope Kompression

2X Expansion 2X Kompression

isotherm, isentrope wechselhaft.



Steigung für Isotherm, isentrop

Herleitung sehe Notizen 2. Übung

a) Skizzieren Sie den Prozess qualitativ in einem p-V-Diagramm. Kennzeichnen Sie alle relevanten Isothermen sowie alle dem System zu- und abgeführten Wärmen und Arbeiten.

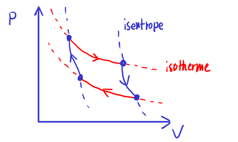
Carnot - Prozess

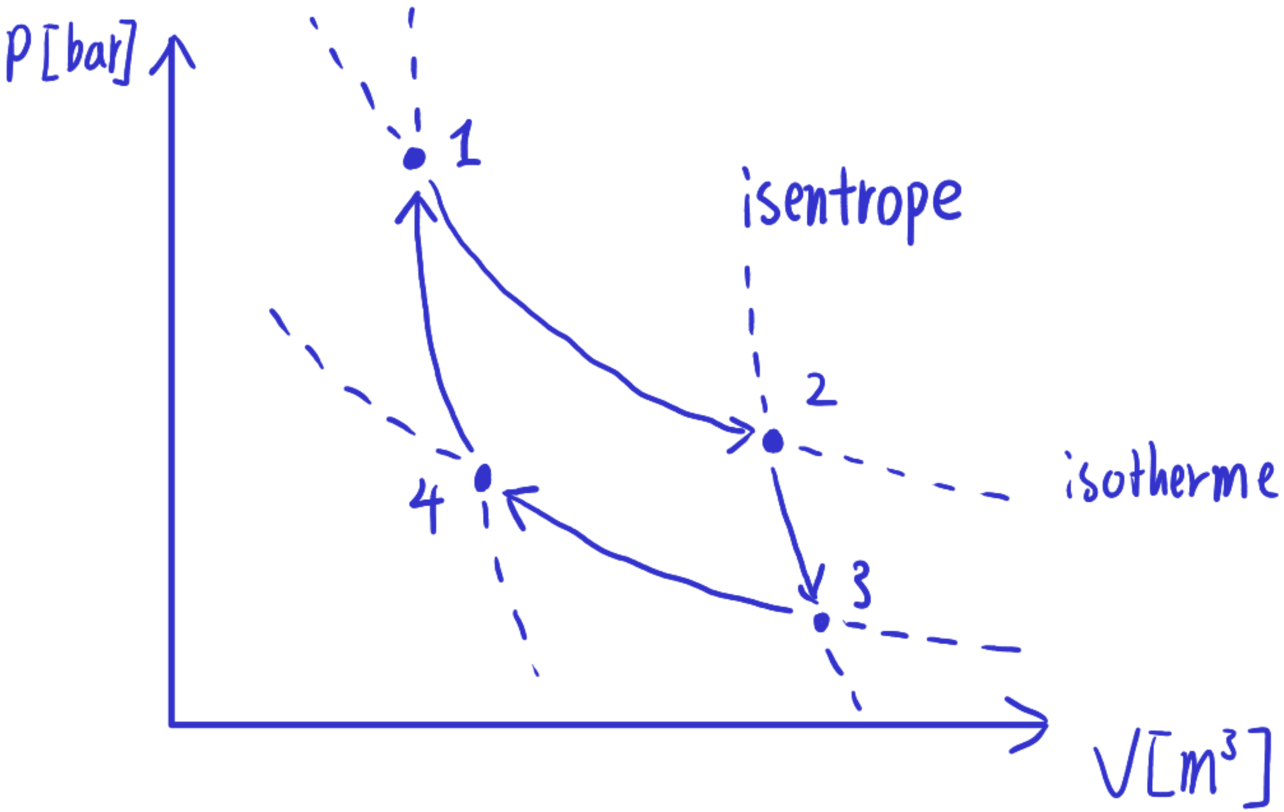
1. isotherme Expansion
2. isentrope Expansion
3. isotherme Kompression
4. isentrope Kompression

2X Expansion 2X Kompression

isotherm, isentrope Wechselhaft.

Steigung für isotherm, isentrop
Herleitung siehe Notizen 2. Übung



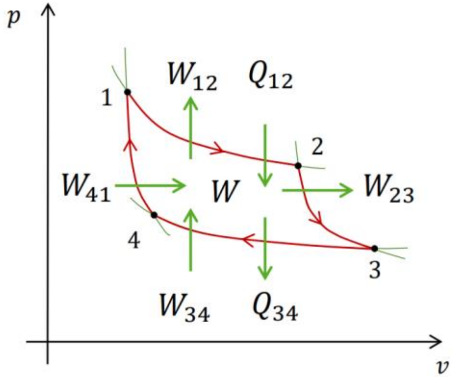


Woher wissen wir ob Q; W raus oder rein geht ?

Kurze Antwort :

Energiebilanzgleichung

Oder direkt aus Vorlesung!!!



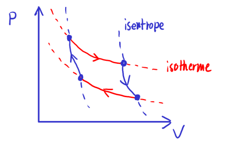
Carnot - Prozess

1. isotherme Expansion
2. isentrope Expansion
3. isotherme Kompression
4. isentrope Kompression

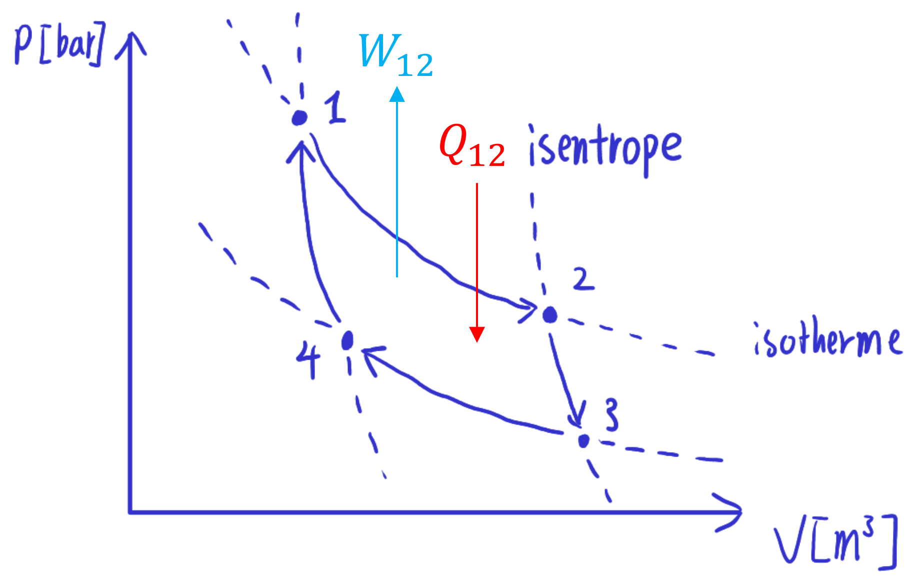
2X Expansion 2X Kompression

isotherm, isentrope Wechselhaft.

Steigung für isotherm, isentrop
Herleitung siehe Notizen 2. Übung



a) Skizzieren Sie den Prozess qualitativ in einem *p*-*V*-Diagramm. Kennzeichnen Sie alle relevanten Isothermen sowie alle dem System zu- und abgeführten Wärmen und Arbeiten.



isotherme Expansion

$T_1 = T_2$

für IG $u(T)$

$U_1 = U_2$

Volumenarbeit $W_v > 0$

leistet arbeit nach draussen

$\Delta U = Q - W$

$0 = Q_{12} - W_{12}$

$Q_{12} = W_{12} > 0$

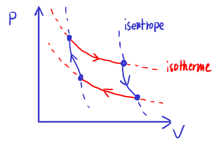
$\Rightarrow Q_{12} > 0 \Rightarrow$ Wärme geht rein.

Carnot - Prozess

1. isotherme Expansion
2. isentrope Expansion
3. isotherme Kompression
4. isentrope Kompression

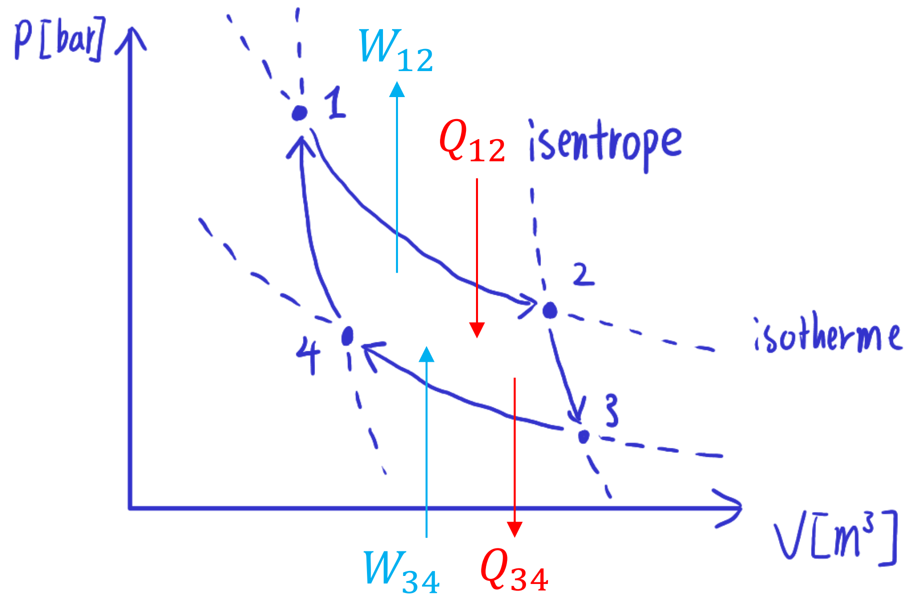
2X Expansion 2X Kompression

isotherm, isentrope wechselhaft.



Steigung für Isotherm, isentrop Herleitung sehe Notizen 2. Übung

a) Skizzieren Sie den Prozess qualitativ in einem *p*-*V*-Diagramm. Kennzeichnen Sie alle relevanten Isothermen sowie alle dem System zu- und abgeführten Wärmen und Arbeiten.



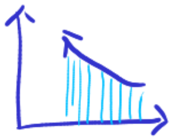
isotherme Kompression

↓

Analog wie oben

$\Delta U = 0$

$\int p\,dV$ Integration verlauf nach links

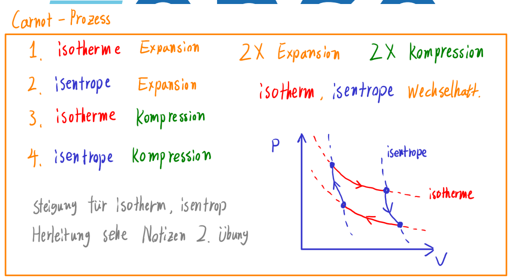


$\Rightarrow \int p\,dV = W_V < 0$

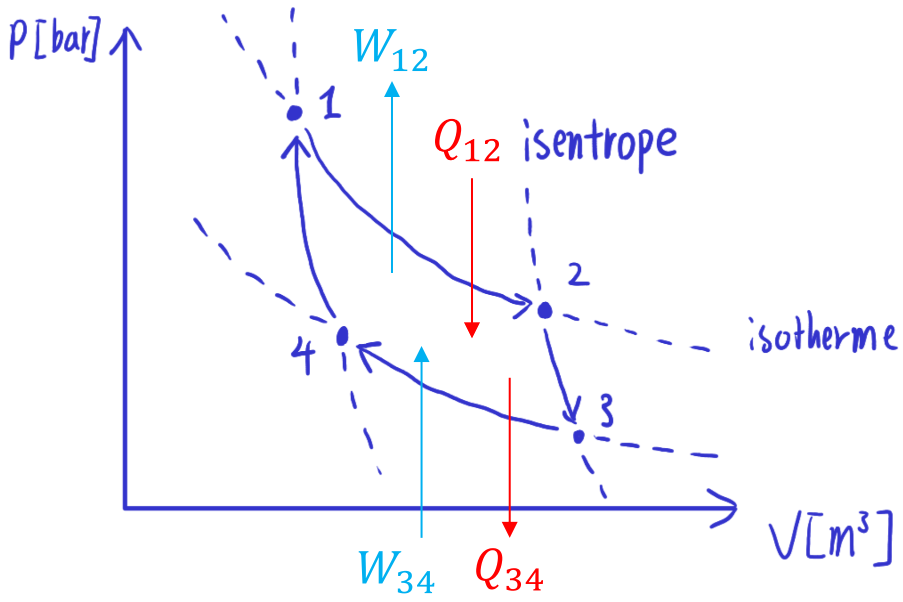
$\Rightarrow$ Arbeit geht rein

Analog mit E-Bilanz

$Q = W_V < 0 \Rightarrow$ Wärme Verlust



a) Skizzieren Sie den Prozess qualitativ in einem p-V-Diagramm. Kennzeichnen Sie alle relevanten Isothermen sowie alle dem System zu- und abgeführten Wärmen und Arbeiten.



Oder Intuition :

Wenn man Luft komprimiert,
drückt man Zylinder von draussen,
man gibt Arbeit rein in Sys. [Zylinder]

$\Rightarrow$ Zylinder bekommt Arbeit von uns.
$W_v < 0$ für Zylinder

a) Skizzieren Sie den Prozess qualitativ in einem p-V-Diagramm. Kennzeichnen Sie alle relevanten Isothermen sowie alle dem System zu- und abgeführten Wärmen und Arbeiten.

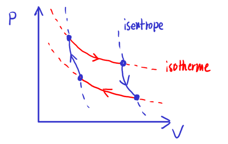
Carnot - Prozess

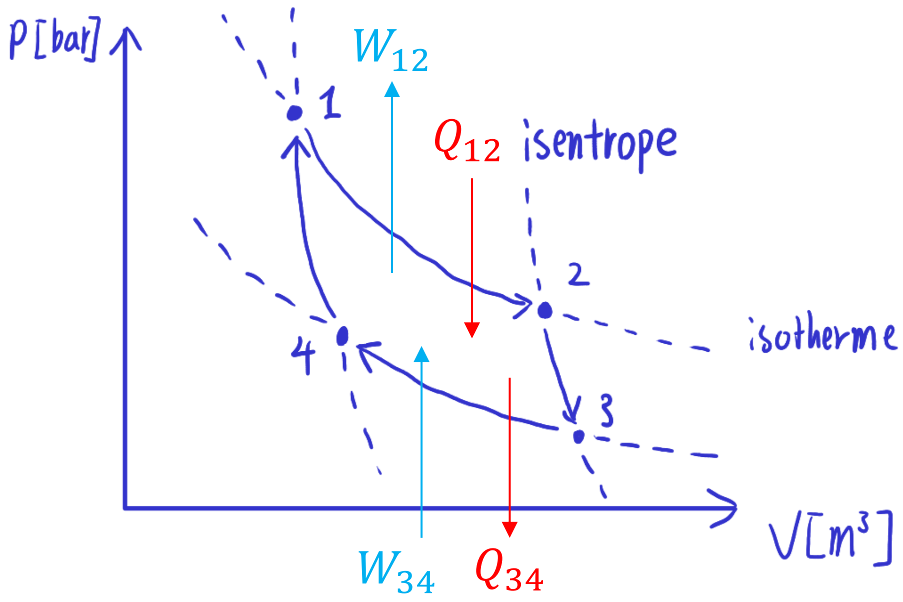
1. isotherme Expansion
2. isentrope Expansion
3. isotherme Kompression
4. isentrope Kompression

2X Expansion 2X Kompression

isotherm, isentrope Wechselhaft.

Steigung für Isotherm, isentrop
Herleitung sehe Notizen 2. übung



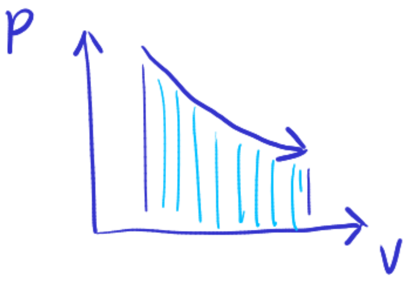


Isentrope :

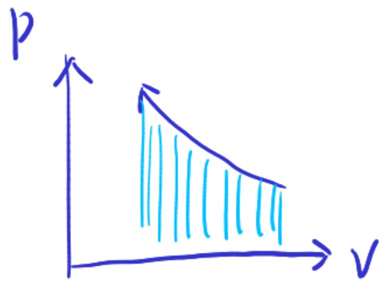
Verlauf hier adiabat und rev. → isentrop

Adiabat ⇒ $Q = 0$

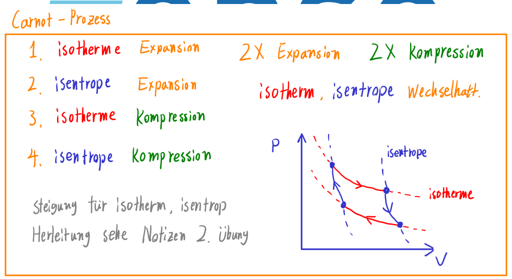
Dann guck man nach Integral-Richtung für PdV



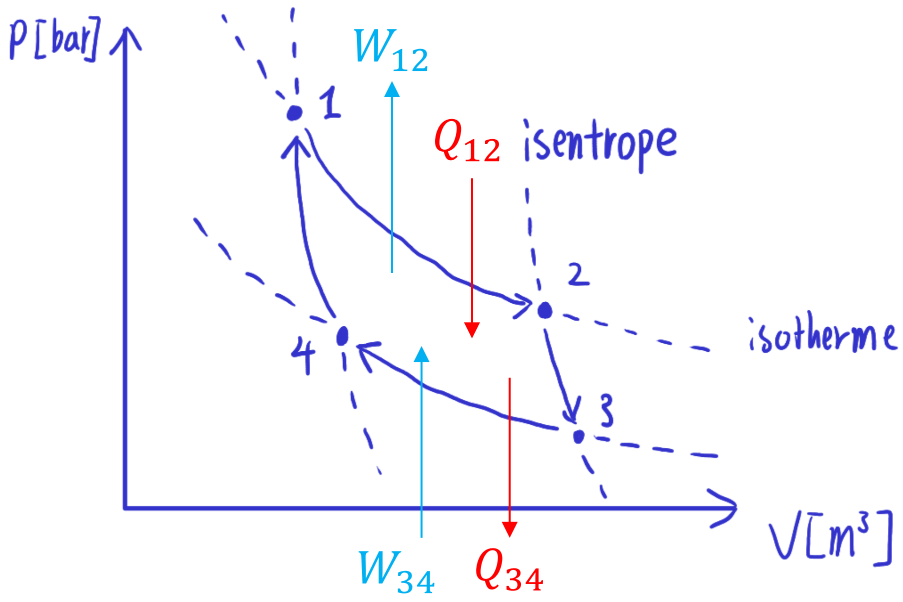
$\int p\,dV = W_V > 0$



$\int p\,dV = W_V < 0$

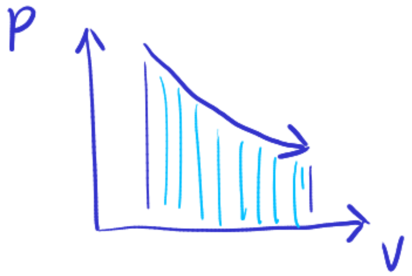


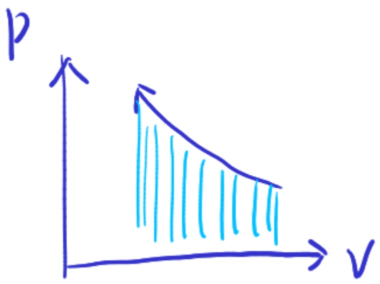
a) Skizzieren Sie den Prozess qualitativ in einem p-V-Diagramm. Kennzeichnen Sie alle relevanten Isothermen sowie alle dem System zu- und abgeführten Wärmen und Arbeiten.



Isentrope :

Dann guck man nach Integral-Richtung für PdV



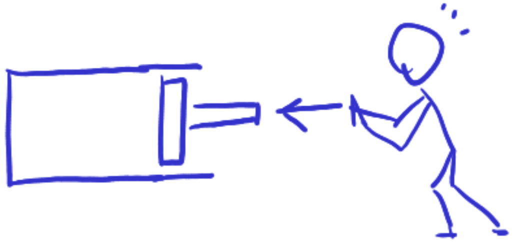


$\int p dv = W_v > 0$ $\qquad$ $\int p dv = W_v < 0$

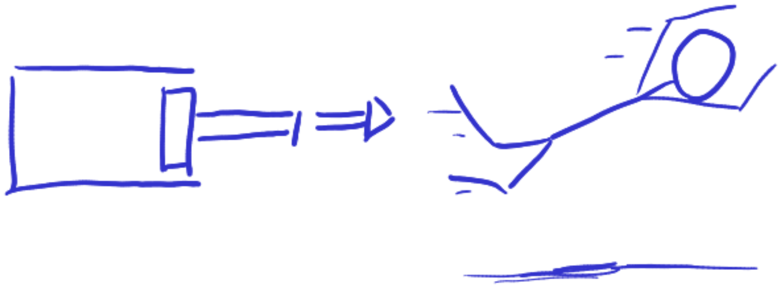
Entscheidet dann ob Arbeit raus oder rein geht.

Entscheidet dann ob Arbeit raus oder rein geht,

oder dem Fall Intuition



Kompression Arbeit geht rein



Expansion Arbeit geht raus

a) Skizzieren Sie den Prozess qualitativ in einem p-V-Diagramm. Kennzeichnen Sie alle relevanten Isothermen sowie alle dem System zu- und abgeführten Wärmen und Arbeiten.

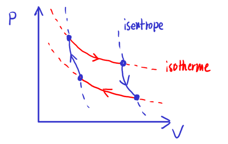
Carnot - Prozess

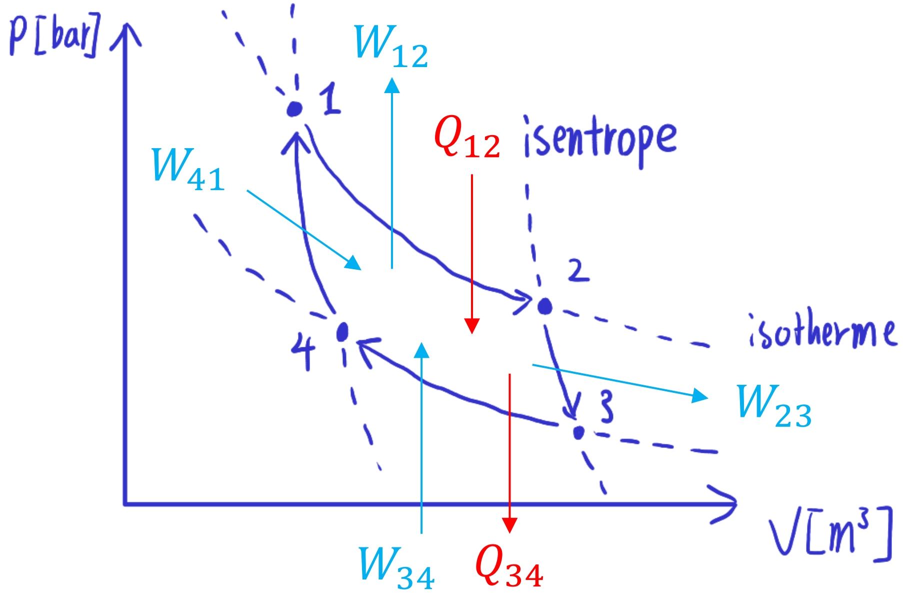
1. isotherme Expansion
2. isentrope Expansion
3. isotherme Kompression
4. isentrope Kompression

2X Expansion 2X Kompression

isotherm, isentrope Wechselhaft.

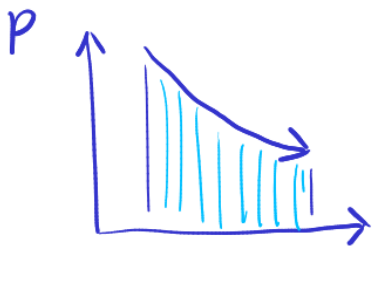
Steigung für Isotherm, isentrop Herleitung siehe Notizen 2. Übung

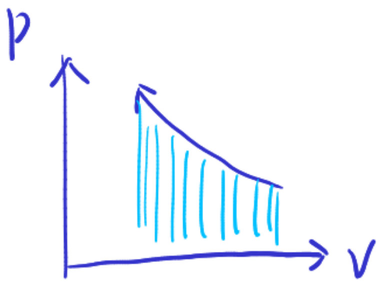




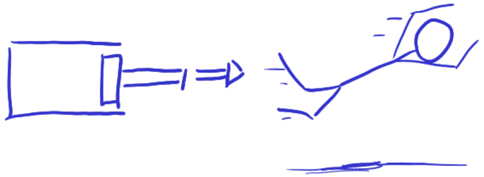
Isentrope :

Dann guck man nach Integral-Richtung für PdV

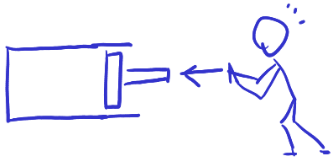




$\int p dv = W_v > 0$ $\int p dv = W_v < 0$



Expansion Arbeit geht raus



Kompression Arbeit geht rein

b) Bestimmen Sie die maximale und minimale Temperatur $T_{\max}$ und $T_{\min}$ während des Prozesses.

⇒ Es ist Kreisprozess, und ist Carnot

Falls Prozess Carnot-prozess:

$$\eta_{th} = \eta_{Carnot}$$

Aus ZF

Thermischer Wirkungsgrad $\eta_{\text{th}} = \dfrac{|W_{\text{nutz}}|}{|Q_{\text{zu}}|}$

für Kreisprozesse: $\eta_{\text{th,KP}} = \dfrac{|W_{\text{KP}}|}{|Q_{\text{zu}}|} = 1 - \dfrac{|Q_{\text{ab}}|}{|Q_{\text{zu}}|}$

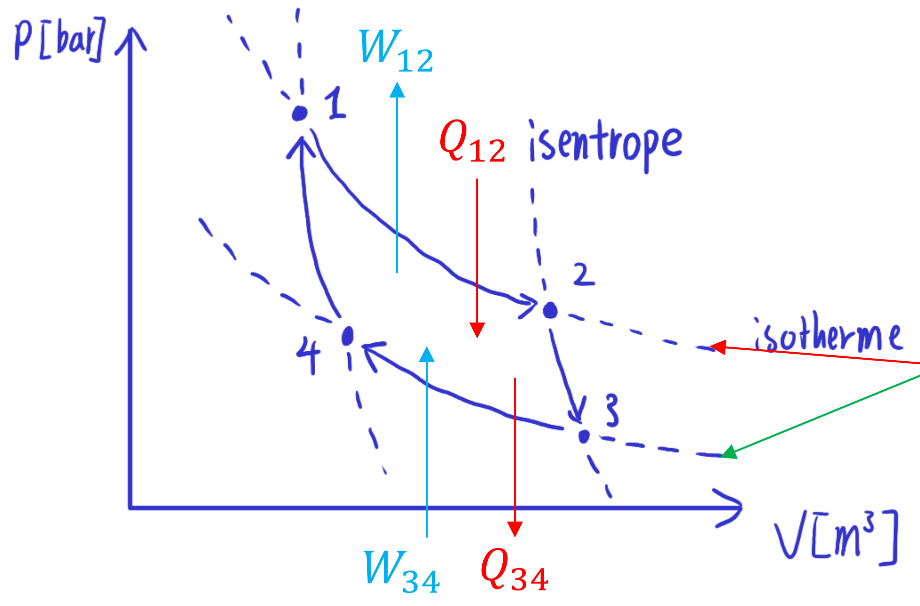
Carnotscher Wirkungsgrad $\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \dfrac{T_{\text{ab}}}{T_{\text{zu}}}$

$$\eta_{th,KP} = \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{ab}}{T_{zu}}$$

$$\frac{T_{ab}}{T_{zu}} = \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

b) Bestimmen Sie die maximale und minimale Temperatur $T_{\max}$ und $T_{\min}$ während des Prozesses.

$$\eta_{th,KP} = \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{ab}}{T_{zu}}$$



$$\frac{T_{ab}}{T_{zu}} = \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

b) Bestimmen Sie die maximale und minimale Temperatur T_{max} und T_{min} während des Prozesses.

$$\eta_{th,KP} = \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{ab}}{T_{zu}} \longrightarrow \frac{T_{ab}}{T_{zu}} = \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

ges. T_{min}, T_{max},

geg. $P_1, V_1, m_{Luft}, Q_{12}, \eta_{th} = \eta_{carnot}$

Ansatz: Temp. Abhängigkeit ? IG $\Rightarrow$ $pv = RT$

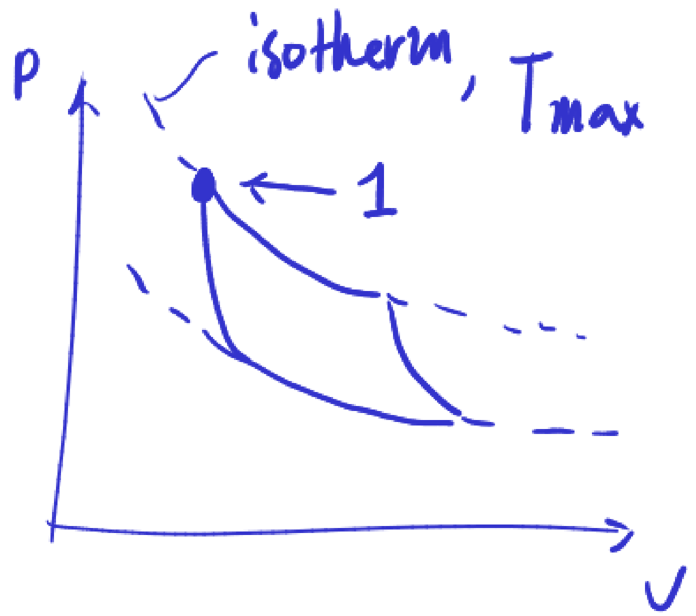
$u(T)$

P_1, V_1, m_{Luft} geg. IG $\Rightarrow$ T_2 lösbar

b) Bestimmen Sie die maximale und minimale Temperatur $T_{\max}$ und $T_{\min}$ während des Prozesses.

$\eta_{th,KP} = \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{ab}}{T_{zu}} \longrightarrow \frac{T_{ab}}{T_{zu}} = \frac{T_{min}}{T_{max}}$

P_1, V_1, M_{Luft} geg. IG $\Rightarrow T_1$ lösbar



$\Rightarrow$ Zustand 1 auf Isotherm T_{max}

$P_1 V_1 = m_{Luft} R T_1 \Rightarrow T_1 = \frac{P_1 V_1}{m_{Luft} R}$

$$\overline{R} = 8.314 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol\,K}} \qquad R = c_p^{ig} - c_v^{ig} = \frac{\overline{R}}{M}$$

$M_{Luft} = 28{,}97 \frac{kg}{kmol}$ TAB A-1

$R = \frac{8{,}314 \frac{kJ}{\cancel{kmol} \cdot K}}{28{,}97 \frac{kg}{\cancel{kmol}}} = 0{,}287 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

b) Bestimmen Sie die maximale und minimale Temperatur $T_{\max}$ und $T_{\min}$ während des Prozesses.

$\eta_{th,KP} = \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{ab}}{T_{zu}} \longrightarrow \frac{T_{ab}}{T_{zu}} = \frac{T_{min}}{T_{max}}$

P_1, V_1, m_{Luft} geg. IG $\Rightarrow T_1$ lösbar

geg. $P_1, V_1, m_{Luft}, Q_{12}, \eta_{th} = \eta_{carnot}$

$$\Rightarrow \quad T_1 = \frac{700\,\cancel{kPa} \cdot 0{,}24\,\cancel{m^3}}{1\,\cancel{kg} \cdot 0{,}287\,\frac{\cancel{kJ}}{\cancel{kg} \cdot K}} = \underline{\underline{585{,}366\,K}} = T_{max}$$

b) Bestimmen Sie die maximale und minimale Temperatur T_{max} und T_{min} während des Prozesses.

$\eta_{th,KP} = \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{ab}}{T_{zu}} \longrightarrow \frac{T_{ab}}{T_{zu}} = \frac{T_{min}}{T_{max}} \longrightarrow$ P_1, V_1, m_{Luft} geg. IG $\Rightarrow T_1$ lösbar $\longrightarrow T_1 = \frac{700\,kPa \cdot 0{,}24\,m^3}{1\,kg \cdot 0{,}287 \frac{kJ}{kg \cdot K}} = \underline{\underline{585{,}366\,K}} = T_{max}$

Durch neue, gelernte Temp. Abhängigkeit in η_{carnot}

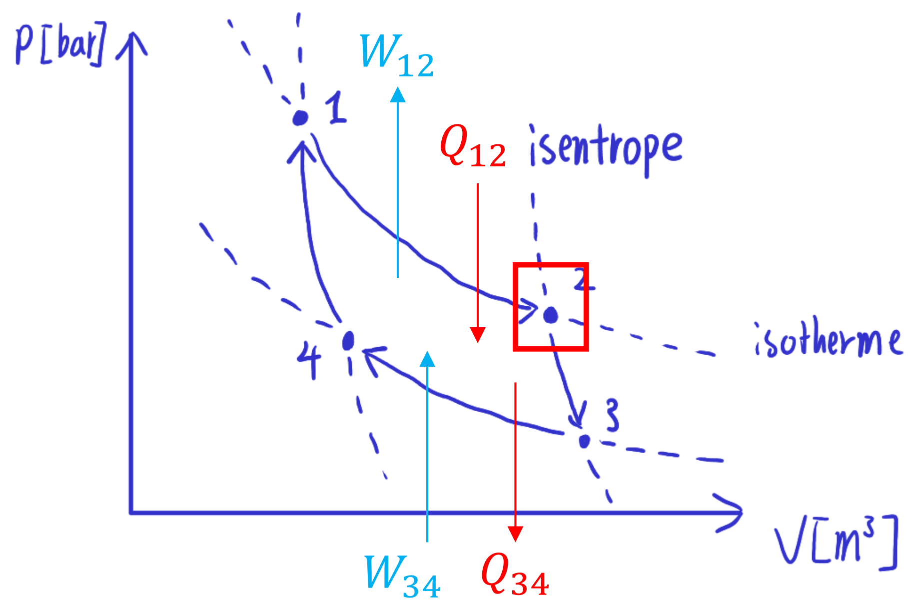
$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_{ab}}{T_{zu}} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

T_{min} lösbar durch T_{max}, η

$$T_{min} = T_{max}(1 - \eta_{carnot}) = \underline{\underline{234{,}14\,K}}$$

✓ ML

c) Bestimmen Sie das Volumen V_2 am Ende der isothermen Expansion.



Zustandsgröße gesucht.

IG. Ansatz: $PV = mRT$

$T_2 = T_1$ wegen isotherm

$P_2 = ?$

c) Bestimmen Sie das Volumen V_2 am Ende der isothermen Expansion.

IG, Ansatz: $PV = mRT$ $T_2 = T_1$

$P_2 = ?$

System, Klassifizierung, Sys. Grenze
Energiebilanz,
Ganz Sys. ?
Sub Sys ?
(manchmal nötig, aber auch aufwendig, man braucht gutes Verständnis)

Änderung der Zustandsgrösse = Prozessgrösse

$\Delta E = \boxed{\Delta U} + \cancel{\Delta KE} + \boxed{\cancel{\Delta PE}} = \boxed{Q} + \boxed{W}$ lösbar

lösbar Einheiten? geg.

TAB, L... Einheiten

$U_2 - U_1$

~~Feder, Gavitation~~

~~Mechanischer Lösungsansatz~~

~~Kraft, GGW~~

Stoffmodelle Werkzeugkoffer

IG: $PV = mRT$ | $u(T)$, $h(T)$

$U = mu$

PG

U

T P V

m, c_p, c_v

Zustandsänder...

...ram

...s-Prozess

Volumenarbeit

Arbeit, Federarbeit...

P V

V A Δx

Die Faden führt sich zu PdV, Arbeit, nach Bilanzgleichung

Sehe linken Seite gleich 0, Q_{12} geg. $\Rightarrow W_{12} = W_V$ lösbar

c) Bestimmen Sie das Volumen V_2 am Ende der isothermen Expansion.

IG. Ansatz: $PV = mRT$ $T_2 = T_1$

Try Energiebilanz

$$\Delta U = Q_{12} - W_{12}$$

$$\downarrow$$

U(T) für IG
Prozess isotherm
$T_1 = T_2$ $U_1 = U_2$

$$0 = Q_{12} - W_{12}$$

$$W_{12} = Q_{12} \leftarrow \text{geg. } Q_{12} = 40\,\text{kJ}$$

Aus ZF

- für Polytrope, $n = 1$:

$$\left(\int_1^2 p\,\mathrm{d}v\right)_{n=1} = p_1 v_1 \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) = p_1 v_1 \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$$

c) Bestimmen Sie das Volumen V_2 am Ende der isothermen Expansion.

IG. Ansatz: $PV = mRT$ $\quad T_2 = T_1$

Try Energiebilanz $W_{12} = Q_{12}$

Aus ZF

- für Polytrope, $n = 1$:

$$\left(\int_1^2 p\,\mathrm{d}v\right)_{n=1} = p_1 v_1 \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) = p_1 v_1 \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$$

$$W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p\,dV \underset{\uparrow}{=} P_1 V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = Q_{12}$$

$n=1$, isotherm

c) Bestimmen Sie das Volumen V_2 am Ende der isothermen Expansion.

IG. Ansatz: $PV = mRT$ $T_2 = T_1$

Try Energiebilanz $W_{12} = Q_{12}$

$$W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p\,dV \underset{\substack{\uparrow \\ n=1,\ \text{isotherm}}}{=} P_1 V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = Q_{12}$$

lösen nach V_2

$$\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \frac{Q_{12}}{P_1 V_1}$$

$$\ln V_2 - \ln V_1 = \frac{Q_{12}}{P_1 V_1}$$

$$\ln V_2 = \frac{Q_{12}}{P_1 V_1} + \ln V_1$$

$$V_2 = e^{[\dots]}\, m^3 = \underline{\underline{0{,}3045\, m^3}} \checkmark_{ML}$$

Nicht wirklich über pv=RT gelöst, sondern hat es sich zu pdv geführt und dann über Bilanzgleichung.

d) Bestimmen Sie die ausgetauschten Arbeiten W_i und Wärmen Q_i während der 4 Zustandsänderungen.

W_i : jede Prozess   für sowas eig. immer E-Bilanzgleichung

Falls man nichts lösen könnte, kriegt man durch aufstellen der Bilanzgleichung schon 1 Punkt

1-2 : isotherme Expansion.

IG: u ist nur Funktion der Temp.

Isotherm = Keine Änderung der Temp.

Somit keine Änderung der inneren Energie

$$\underbrace{\cancel{\Delta U}}_{0} = Q_{12} - W_{12}$$

$$\underline{\underline{Q_{12} = W_{12} = 40\,kJ}}$$

d) Bestimmen Sie die ausgetauschten Arbeiten W_i und Wärmen Q_i während der 4 Zustandsänderungen.

1 – 2 : isotherme Expansion.

$\cancel{\Delta U}^{0} = Q_{12} - W_{12}$

$Q_{12} = W_{12} = 40\,kJ$

2 - 3 : isentrope Exp.

↓

Adiabat, rev.

$\Delta U = \cancel{Q_{23}}^{0} - W_{23}$

$Q_{23} = 0\,kJ$

$W_{23} = -\Delta U = -(U_3 - U_2) = U_2 - U_3 = m \cdot (u_2 - u_3)$

IG $u(T)$, um u zu bekommen. $T = ?$

d) Bestimmen Sie die ausgetauschten Arbeiten W_i und Wärmen Q_i während der 4 Zustandsänderungen.

1–2 : isotherme Expansion.

$\Delta U = Q_{12} - W_{12}$

$\underline{\underline{Q_{12} = W_{12} = 40\,kJ}}$

2–3 : isentrope Exp. $\quad Q_{23} = \underline{\underline{0\,kJ}} \qquad W_{23} = m \cdot (u_2 - u_3)$

↓

Adiabat, rev.

IG $u(T)$, um u zu bekommen, $T = ?$

aus b) $\quad T_1 = T_2 = T_{max} = 585{,}4\,K \quad \ldots u_2$

$T_3 = T_4 = T_{min} = 234{,}16\,K \quad \ldots u_3$

recall Lösungs Vorgehen aus Notizen 3. Übung für IG Ansätze

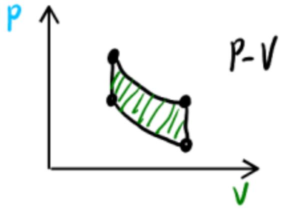
$c_v, c_p = const$, geg.? | ✓ ⇒ PG ⇒ | $\Delta u = c_v \cdot \Delta T$, $\Delta h = c_p \cdot \Delta T$

X → TAB $u^{ig}(T)$? | ✓ ⇒ TAB ablesen

X ⇒ IG → PG approxi. TAB A-20 ideal Gas Specific Heats ...

① get T, ② read c_v, c_p ③ Plug in PG get u, h

isotherm. isobar, iso... Änderungs Prozess



P-V Diagram

Kreis-Prozess

d) Bestimmen Sie die ausgetauschten Arbeiten W_i und Wärmen Q_i während der 4 Zustandsänderungen.

1 – 2 : isotherme Expansion.

$\overset{0}{\Delta U} = Q_{12} - W_{12}$

$\underline{\underline{Q_{12} = W_{12} = 40\,kJ}}$

2 - 3 : isentrope Exp. $Q_{23} = \underline{\underline{0\,kJ}}$ $\qquad W_{23} = m \cdot (u_2 - u_3)$

$\downarrow$

Adiabat, rev.

aus b) $T_1 = T_2 = T_{max} = 585{,}4\,K$

$T_3 = T_4 = T_{min} = 234{,}16\,K$

lerp. $y = \dfrac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1$

TABLE A-22

Ideal Gas Properties of Air

T(K), h and u(kJ/kg), $s°$ (kJ/kg · K)

				when $\Delta s = 0$[1]						when $\Delta s = 0$	
T	h	u	$s°$	p_r	v_r	T	h	u	$s°$	p_r	v_r
200	199.97	142.56	1.29559	0.3363	1707.	450	451.80	322.62	2.11161	5.775	223.6
210	209.97	149.69	1.34444	0.3987	1512.	460	462.02	329.97	2.13407	6.245	211.4
220	219.97	156.82	1.39105	0.4690	1346.	470	472.24	337.32	2.15604	6.742	200.1
230	230.02	164.00	1.43557	0.5477	1205.	480	482.49	344.70	2.17760	7.268	189.5
240	240.02	171.13	1.47824	0.6355	1084.	490	492.74	352.08	2.19876	7.824	179.7
250	250.05	178.28	1.51917	0.7329	979.	500	503.02	359.49	2.21952	8.411	170.6
260	260.09	185.45	1.55848	0.8405	887.8	510	513.32	366.92	2.23993	9.031	162.1
270	270.11	192.60	1.59634	0.9590	808.0	520	523.63	374.36	2.25997	9.684	154.1
280	280.13	199.75	1.63279	1.0889	738.0	530	533.98	381.84	2.27967	10.37	146.7
285	285.14	203.33	1.65055	1.1584	706.1	540	544.35	389.34	2.29906	11.10	139.7
290	290.16	206.91	1.66802	1.2311	676.1	550	554.74	396.86	2.31809	11.86	133.1
295	295.17	210.49	1.68515	1.3068	647.9	560	565.17	404.42	2.33685	12.66	127.0
300	300.19	214.07	1.70203	1.3860	621.2	570	575.59	411.97	2.35531	13.50	121.2
305	305.22	217.67	1.71865	1.4686	596.0	580	586.04	419.55	2.37348	14.38	115.7
310	310.24	221.25	1.73498	1.5546	572.3	590	596.52	427.15	2.39140	15.31	110.6

d) Bestimmen Sie die ausgetauschten Arbeiten W_i und Wärmen Q_i während der 4 Zustandsänderungen.

1 – 2 : isotherme Expansion.

$\Delta U = Q_{12} - W_{12}$

$Q_{12} = W_{12} = 40\,kJ$

2 - 3 : isentrope Exp. $Q_{23} = 0\,kJ$

↓

Adiabat, rev.

$W_{23} = m \cdot (u_2 - u_3)$

aus b) $T_1 = T_2 = T_{max} = 585{,}4\,K$ ... u_2

$T_3 = T_4 = T_{min} = 234{,}16\,K$ ... u_3

lerp. $y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1$

	T [K]	u [kJ/kg]	
x_1	230	164	y_1
lerp. → x	234,16		← y
x_2	240	171,13	y_2
x_1	580	419,55	y_1
→ x	585,4		← y
x_2	590	427,15	y_2

d) Bestimmen Sie die ausgetauschten Arbeiten W_i und Wärmen Q_i während der 4 Zustandsänderungen.

1 – 2 : isotherme Expansion.

$\Delta U = Q_{12} - W_{12}$

$Q_{12} = W_{12} = 40\,kJ$

2 - 3 : isentrope Exp. $Q_{23} = 0\,kJ$ $\qquad W_{23} = m \cdot (u_2 - u_3)$

↓

Adiabat, rev.

aus b) $T_1 = T_2 = T_{max} = 585{,}4\,K \quad \cdots u_2$

$T_3 = T_4 = T_{min} = 234{,}16\,K \quad \cdots u_3$

lerp. $y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1$

	T [K]	u [kJ/kg]	
x_1	230	164	y_1
lerp. → x	234,16	167	← y
x_2	240	171,13	y_2
x_1	580	419,55	y_1
→ x	585,4	423,7	← y
x_2	590	427,15	y_2

$u_3 = 167\,\frac{kJ}{kg}$

$u_2 = 423{,}7\,\frac{kJ}{kg}$

d) Bestimmen Sie die ausgetauschten Arbeiten W_i und Wärmen Q_i während der 4 Zustandsänderungen.

1–2 : isotherme Expansion.

$\Delta U = Q_{12} - W_{12}$

$Q_{12} = W_{12} = 40\,kJ$

2-3 : isentrope Exp. $Q_{23} = 0\,kJ$

↓

Adiabat, rev.

$W_{23} = m \cdot (u_2 - u_3)$

aus b) $T_1 = T_2 = T_{max} = 585{,}4\,K$ ... u_2

$T_3 = T_4 = T_{min} = 234{,}16\,K$ ... u_3

lerp. $y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1$

	$T\,[K]$	$u\,[\frac{kJ}{kg}]$	
x_1	230	164	y_1
lerp. → x	234,16	167	← y
x_2	240	171,13	y_2
x_1	580	419,55	y_1
→ x	585,4	423,7	← y
x_2	590	427,15	y_2

$u_3 = 167\,\frac{kJ}{kg}$

$u_2 = 423{,}7\,\frac{kJ}{kg}$

$W_{23} = m \cdot (u_2 - u_3) = 256{,}7\,kJ$ ✓ ML

d) Bestimmen Sie die ausgetauschten Arbeiten W_i und Wärmen Q_i während der 4 Zustandsänderungen.

1-2 : isotherme Expansion.

$\Delta U = Q_{12} - W_{12}$

$Q_{12} = W_{12} = 40\,kJ$

2-3 : isentrope Exp.

↓

Adiabat, rev.

$Q_{23} = 0\,kJ$

$W_{23} = m \cdot (u_2 - u_3) = 256,7\,kJ$ ✓ML

3-4 : isotherme Kompression

⇓

$\Delta U = 0$

$$0 = Q_{34} - W_{34}$$

$$W_{34} = Q_{34}$$ Wir kennen weder Q noch W

Stuck ? Blind approach. Abhängigkeiten suchen.

neue Wissen fordert.

d) Bestimmen Sie die ausgetauschten Arbeiten W_i und Wärmen Q_i während der 4 Zustandsänderungen.

1-2 : isotherme Expansion.

$\Delta U = Q_{12} - W_{12}$

$\underline{\underline{Q_{12} = W_{12} = 40\,kJ}}$

2-3 : isentrope Exp.

$\downarrow$

Adiabat, rev.

$Q_{23} = \underline{\underline{0\,kJ}}$

$W_{23} = m \cdot (u_2 - u_3) = \underline{\underline{256,7\,kJ}}$ √ML

3-4 : isotherme Kompression $W_{34} = Q_{34}$

$\Downarrow$

$\Delta U = 0$

Carnot Prozess.

$$\eta_{th} = \eta_{carnot} = 1 - \frac{|Q_{ab}|}{|Q_{zu}|} = 1 - \frac{T_{ab}}{T_{zu}}$$

$$\Rightarrow \frac{|Q_{ab}|}{|Q_{zu}|} = \frac{T_{ab}}{T_{zu}} = \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

d) Bestimmen Sie die ausgetauschten Arbeiten W_i und Wärmen Q_i während der 4 Zustandsänderungen.

1–2 : isotherme Expansion.

$\overset{0}{\cancel{\Delta U}} = Q_{12} - W_{12}$

$\underline{\underline{Q_{12} = W_{12} = 40\ kJ}}$

2–3 : isentrope Exp.

↓

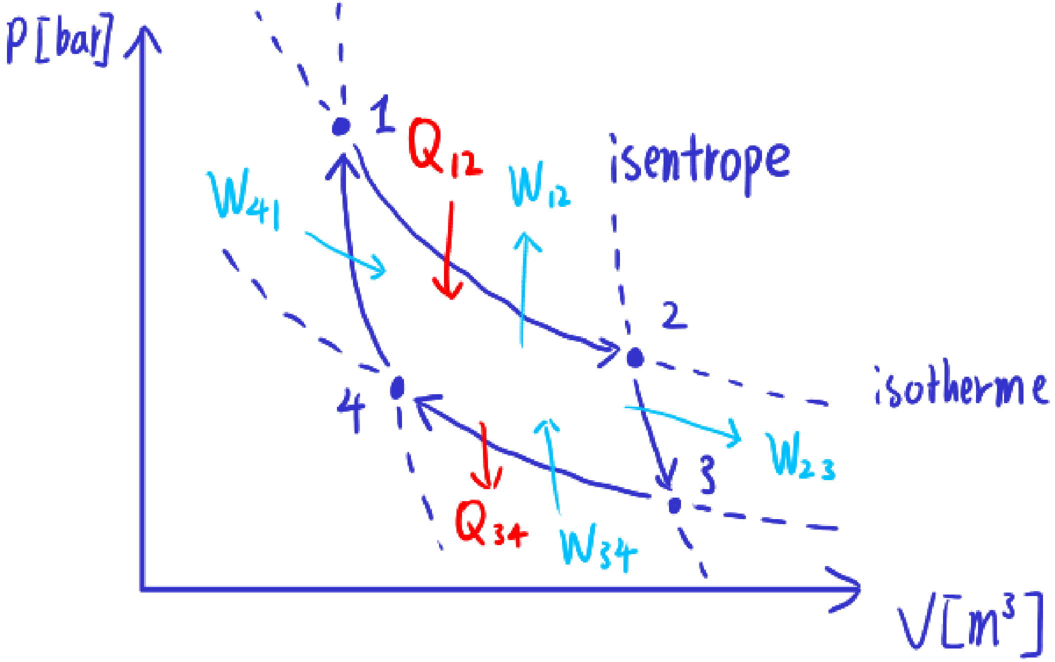
Adiabat, rev.

$Q_{23} = \underline{\underline{0\ kJ}}$

$W_{23} = m \cdot (u_2 - u_3) = \underline{\underline{256,7\ kJ}}$ ✓ML

3–4 : isotherme Kompression $W_{34} = Q_{34}$

$$\frac{|Q_{ab}|}{|Q_{zu}|} = \frac{T_{ab}}{T_{zu}} = \frac{T_{min}}{T_{max}}$$



$\Rightarrow Q_{zu} = Q_{12}$

$Q_{ab} = Q_{34}$

d) Bestimmen Sie die ausgetauschten Arbeiten W_i und Wärmen Q_i während der 4 Zustandsänderungen.

1-2 : isotherme Expansion.

$\Delta U = Q_{12} - W_{12}$

$Q_{12} = W_{12} = 40\,kJ$

2-3 : isentrope Exp.

↓

Adiabat, rev.

$Q_{23} = 0\,kJ$

$W_{23} = m \cdot (u_2 - u_3) = 256{,}7\,kJ$ √ML

3-4 : isotherme Kompression $W_{34} = Q_{34}$

$$\frac{|Q_{ab}|}{|Q_{zu}|} = \frac{T_{ab}}{T_{zu}} = \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

$T_{min} = 234{,}16\,K$ $T_{max} = 585{,}4\,K$ $Q_{12} = 40\,kJ \Rightarrow Q_{zu} = Q_{12}$

$Q_{ab} = Q_{34}$

$$|Q_{34}| = 40\,kJ \cdot \frac{234{,}16}{585{,}4} = 16\,kJ$$

d) Bestimmen Sie die ausgetauschten Arbeiten W_i und Wärmen Q_i während der 4 Zustandsänderungen.

1−2 : isotherme Expansion.

$\Delta U = Q_{12} - W_{12}$

$Q_{12} = W_{12} = 40\,kJ$

2−3 : isentrope Exp.

↓

Adiabat, rev.

$Q_{23} = 0\,kJ$

$W_{23} = m \cdot (u_2 - u_3) = 256,7\,kJ$ √ML

3−4 : isotherme Kompression $W_{34} = Q_{34}$

$$|Q_{34}| = 40\,kJ \cdot \frac{234,16}{585,4} = 16\,kJ$$

$Q_{ab} = Q_{34}$

Q_{34} ist Wärmeabgabe ⇒ $Q_{34} = \underline{\underline{-16\,kJ}}$

$W_{34} = \underline{\underline{-16\,kJ}}$

d) Bestimmen Sie die ausgetauschten Arbeiten W_i und Wärmen Q_i während der 4 Zustandsänderungen.

1−2 : isotherme Expansion.

$\cancel{\Delta U}^{0} = Q_{12} - W_{12}$

$\underline{\underline{Q_{12} = W_{12} = 40\,kJ}}$

2−3 : isentrope Exp.

$\downarrow$

Adiabat, rev.

$Q_{23} = \underline{\underline{0\,kJ}}$

$W_{23} = m \cdot (u_2 - u_3) = \underline{\underline{256{,}7\,kJ}}$ ✓ML

3−4 : isotherme Kompression

$Q_{34} = \underline{\underline{-16\,kJ}}$ $W_{34} = \underline{\underline{-16\,kJ}}$

4−1 isentrope Kompression.

$\Downarrow$

$\underline{\underline{Q_{41} = 0}}$

$$\Delta U = -W_{41}$$

$$m(u_4 - u_1) = W_{41}$$

$u_4(T_4) = u_3(T_3) = 167\,\frac{kJ}{kg}$ aus Vorher

$u_1(T_1) = u_2(T_2) = 423{,}7\,\frac{kJ}{kg}$

eigesetzt $W_{41} = \underline{\underline{-256{,}7\,kJ}}$ ✓ML.

Sanity check.: negative Arbeit entspricht Kompression.

Geschafft!

SRÜ:

6.4

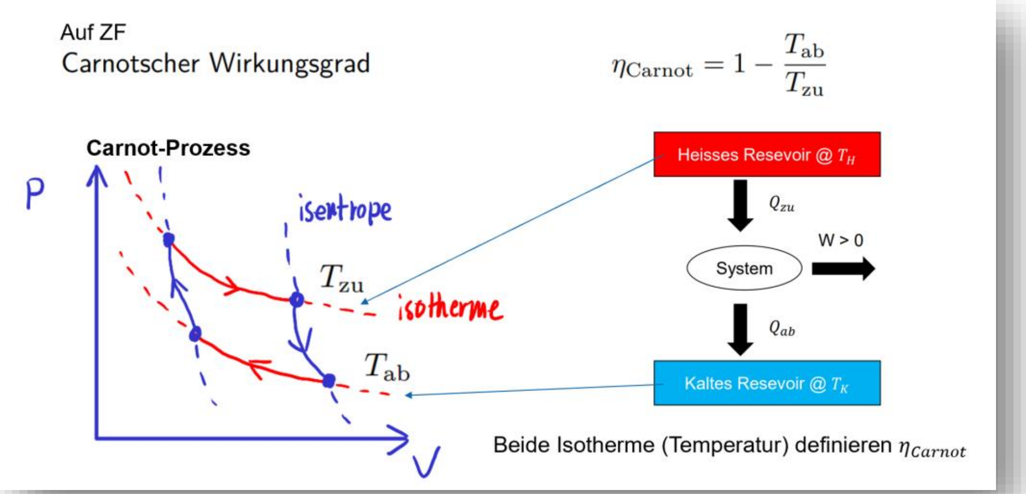
Verdichtungsverhältnis $\varepsilon = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)$

6.5

Reversible -> Thermischer Wirkungsgrad hat bestmögliche Wert in geg. Bedingung(Temperatur Differenz) erreicht.

$$\eta_{th} = \eta_{Carnot}$$

Diese Skizze in den Folien hilft Euch bisschen bei dieser Aufgabe



(In Appendix dieser Woche noch kurz Info über **Leistungsziffer**.)

Danke für die Aufmerksamkeit!

Selbstrechenübung

Feedback