



Thermodynamik III Zusammenfassung 2018

Alle Angaben ohne Gewähr!

Marco Weber
webemarc@ethz.ch

TIPS zur Prüfung

- Alle Serie gelöst haben
- Umgang mit Tabellen und Interpolationen üben
- Zeit stoppen beim lösen einer Serie, so schnell wie möglich lösen
- Sauber hinschreiben was gegeben und gesucht ist, Lösungsweg muss ersichtlich sein.
- Alle Annahmen deutlich notieren
- So viel wie möglich aus den T-s Diagrammen lesen.

Lineare Interpolation

$$\frac{(b_2 - b_1)}{(a_2 - a_1)} \cdot (a_x - a_1) + b_1 \quad \rightarrow$$

TI-89 Funktion:

`ainterp(a1,a2,a,b1,b)`

Func

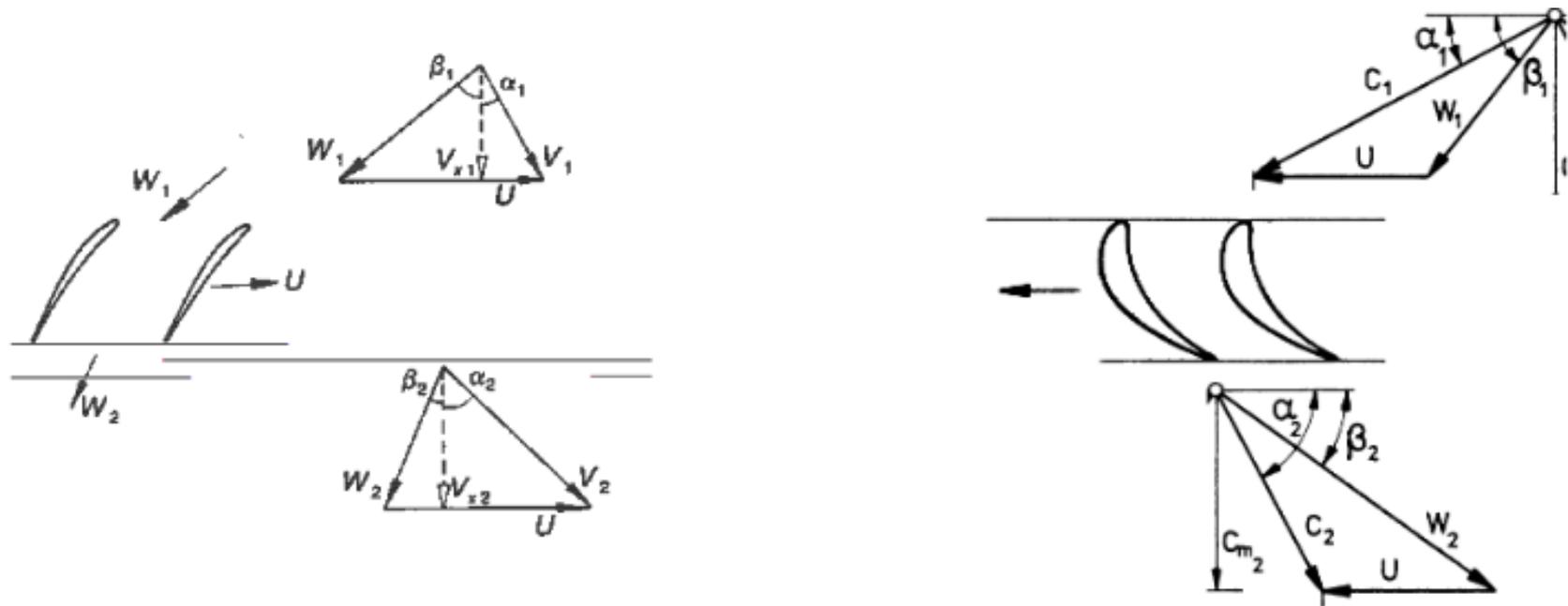
Local a1,a2,a,b,b1,b2

`(b2-b1)/(a2-a1)*(a-a1)+b1` → b

Return b

EndFunc

Kompressor und Turbine



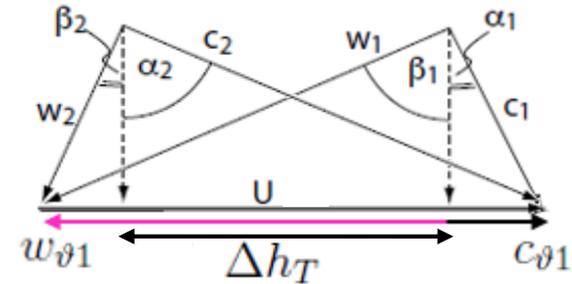
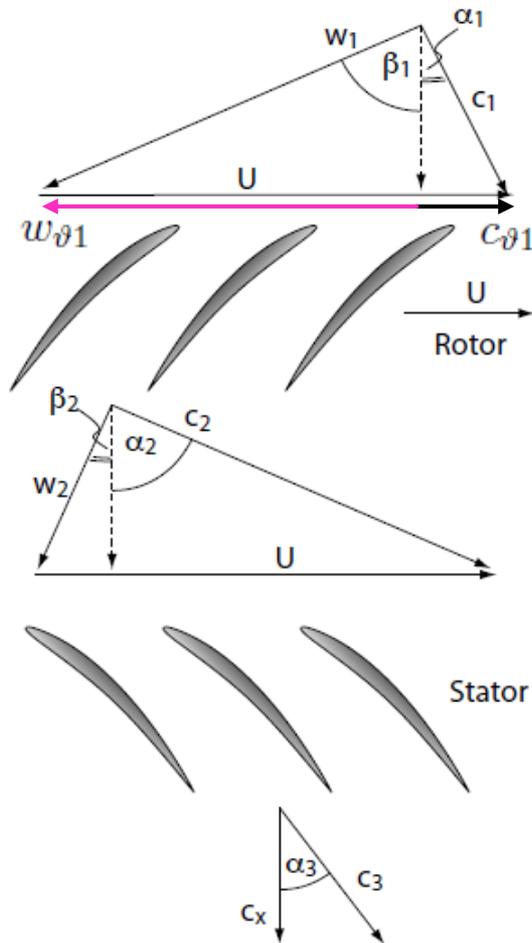
Die Geschwindigkeit im Absolutssystem ist gleich der Umfangsgeschwindigkeit plus der Geschwindigkeit im Relativsystem.

$$\underline{c} = \underline{u} + \underline{w}$$

Inklusive Berücksichtigung der Vorzeichen

Axialkompressor

$$U(r) = r\omega = 2\pi r f$$



$$c_1 = \frac{c_x}{\cos \alpha_1}$$

$$w_2 = \frac{c_x}{\cos \beta_2}$$

$$c_{\vartheta 1} = c_x \tan \alpha_1$$

$$w_{\vartheta 2} = c_x \tan \beta_2$$

$$|w_{\vartheta 1}| = U - c_{\vartheta 1}$$

$$c_{\vartheta 2} = U - |w_{\vartheta 2}|$$

$$\beta_1 = \arctan \frac{w_{\vartheta 1}}{c_x}$$

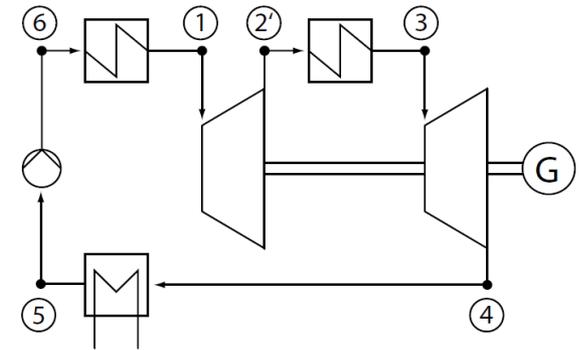
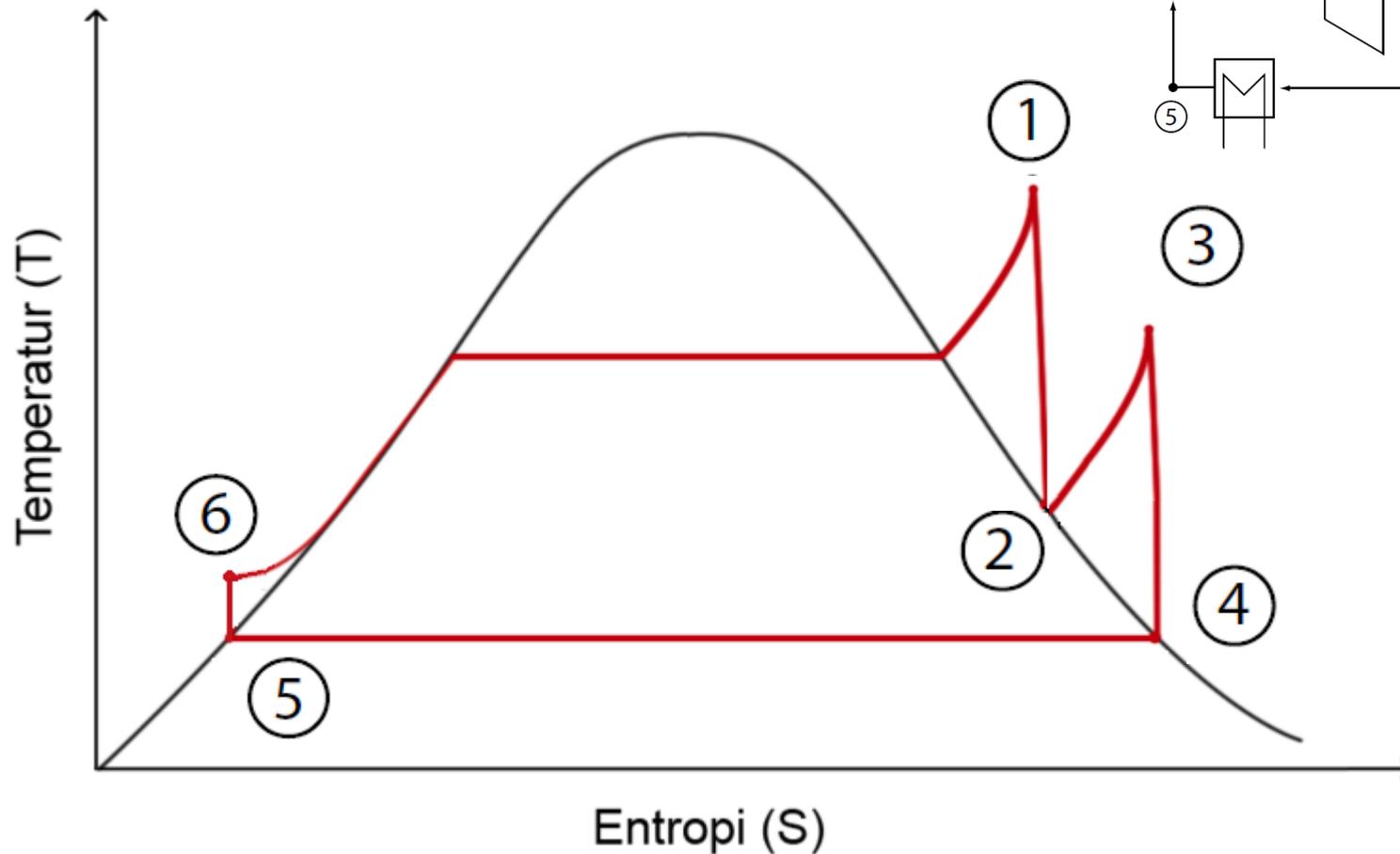
$$c_2 = \sqrt{c_x^2 + c_{\vartheta 2}^2}$$

$$w_1 = \frac{c_x}{\cos \beta_1}$$

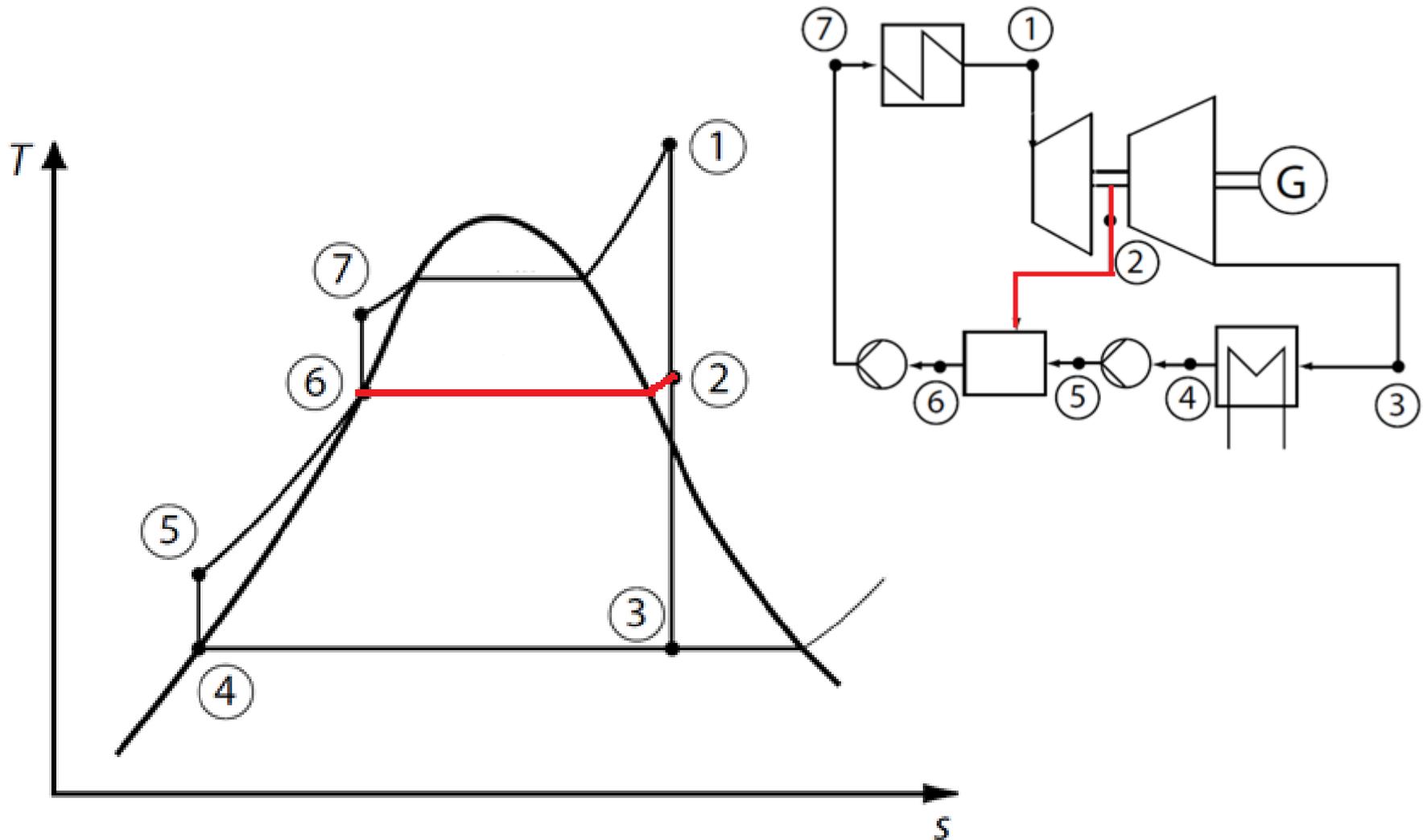
$$\alpha_2 = \arctan \frac{c_{\vartheta 2}}{c_x}$$

$$\Delta h_T = U(c_{\vartheta 2} - c_{\vartheta 1})$$

Rankine Cycle

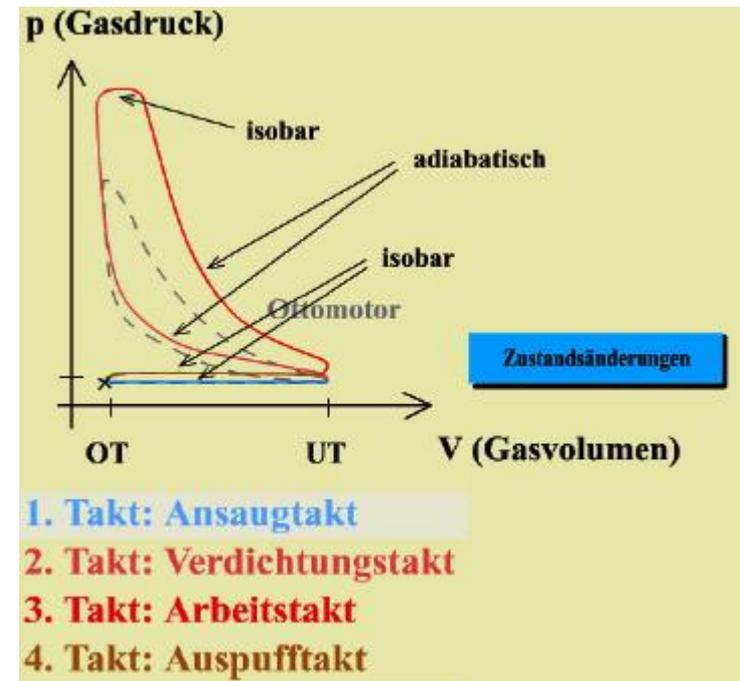
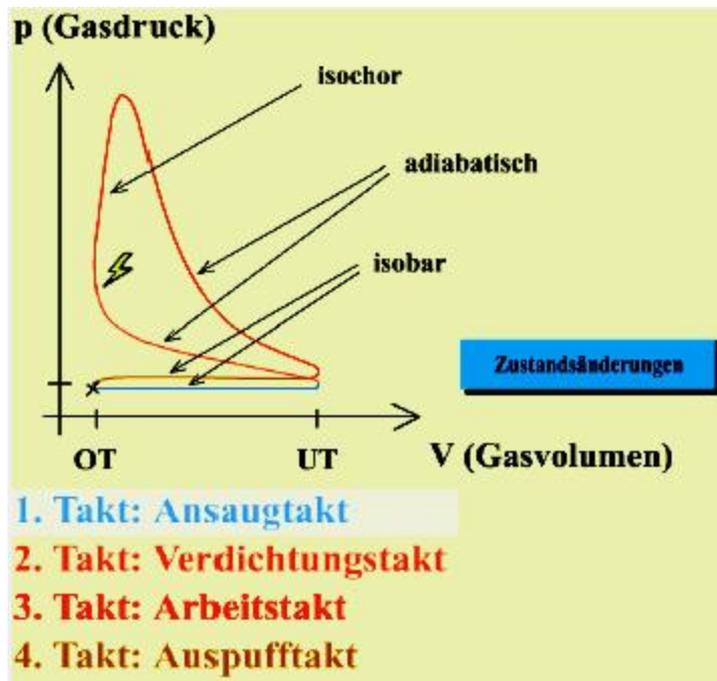


Dampfheizprozess



Ottomotor vs. Dieselmotor

	Ottomotor	Dieselmotor
Gemischbildung:	äußere Gemischbildung	innere Gemischbildung
Zündung:	Fremdzündung	Selbstzündung
Verdichtungsdruck:	8 bis 18 bar	30 bis 50 bar
Höchsttemperatur Verdichtung:	400 bis 600°C	700 bis 900°C



Cp vs. Cv

- Zum Beispiel: Zugeführter und abgeführter Wärmestrom

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

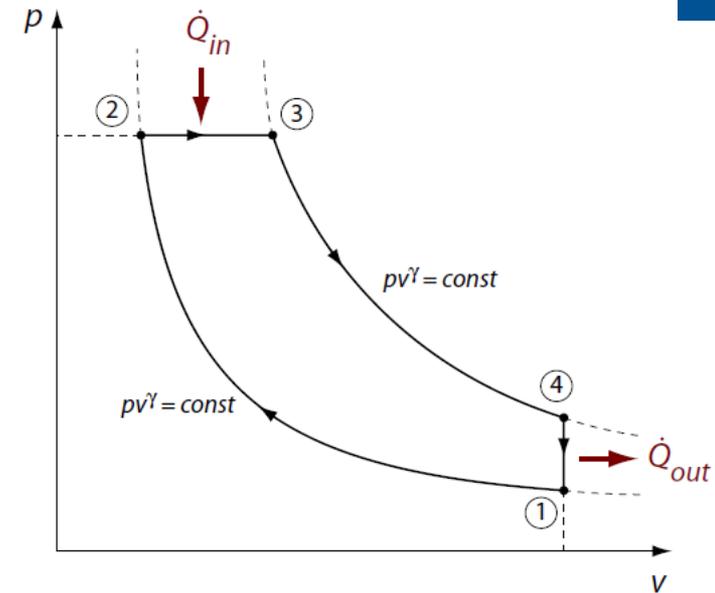
$$R = c_p - c_v$$

- 2-3 : p = konst. $\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} = c_p(T_3 - T_2) ; c_p = \frac{R}{1 - \frac{1}{\gamma}}$

- 4-1 : v = konst. $\frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} = c_v(T_4 - T_1) ; c_v = \frac{R}{\gamma - 1}$

- c) Thermischer Wirkungsgrad

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out}}{\dot{Q}_{in}}$$



Wieso c_p bei nicht konstantem Druck

$$h = h(T, p)$$

$$dh = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p dT + \left(\frac{\partial h}{\partial p} \right)_T dp \quad c_p \equiv \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$$

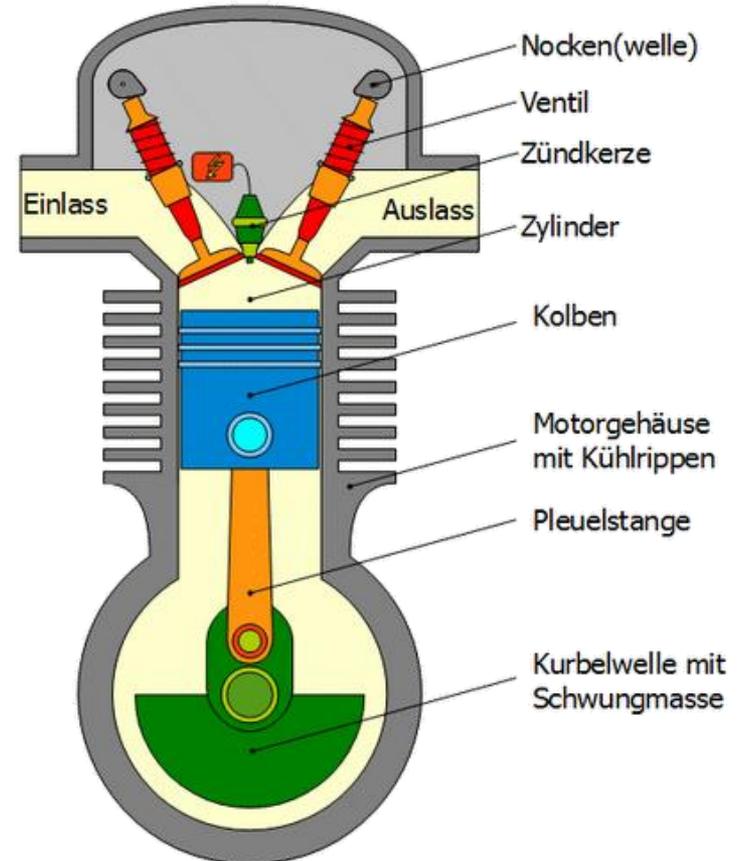
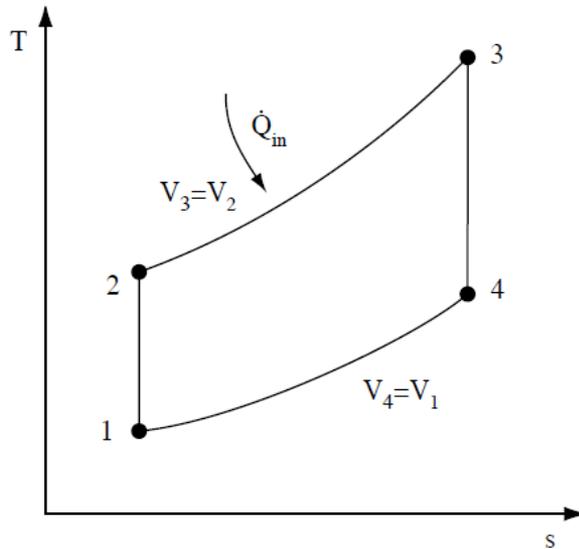
- Die Enthalpie h ist generell eine Funktion des Drucks und der Temperatur.
 - Spezialfall: inkompressible Medien und ideale Gase:
 - In diesem Fall wird die Ableitung der Enthalpie nach dem Druck vernachlässigbar.

$$dh = \left(\frac{dh}{dT} \right) dT$$
$$c_p \equiv \left(\frac{dh}{dT} \right)$$

$$dh = c_p dT$$

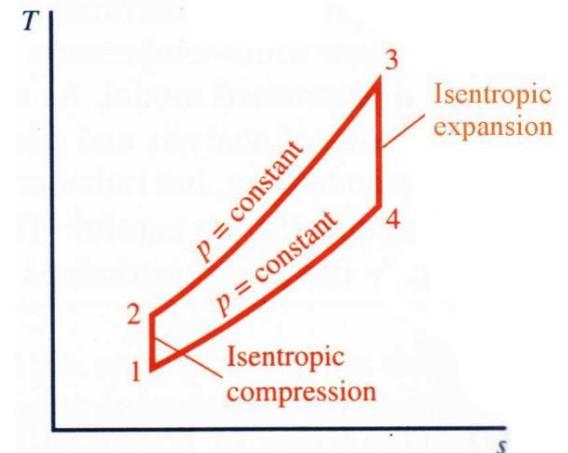
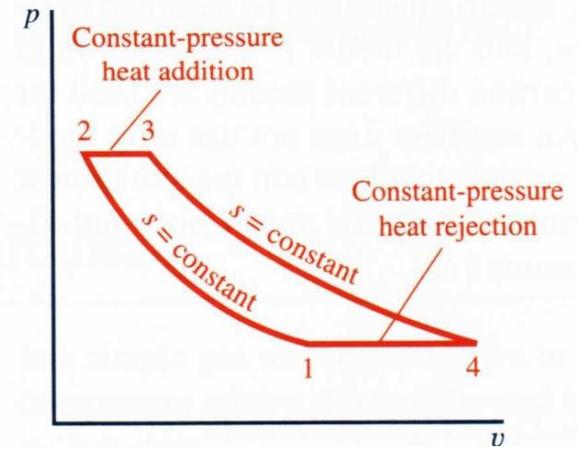
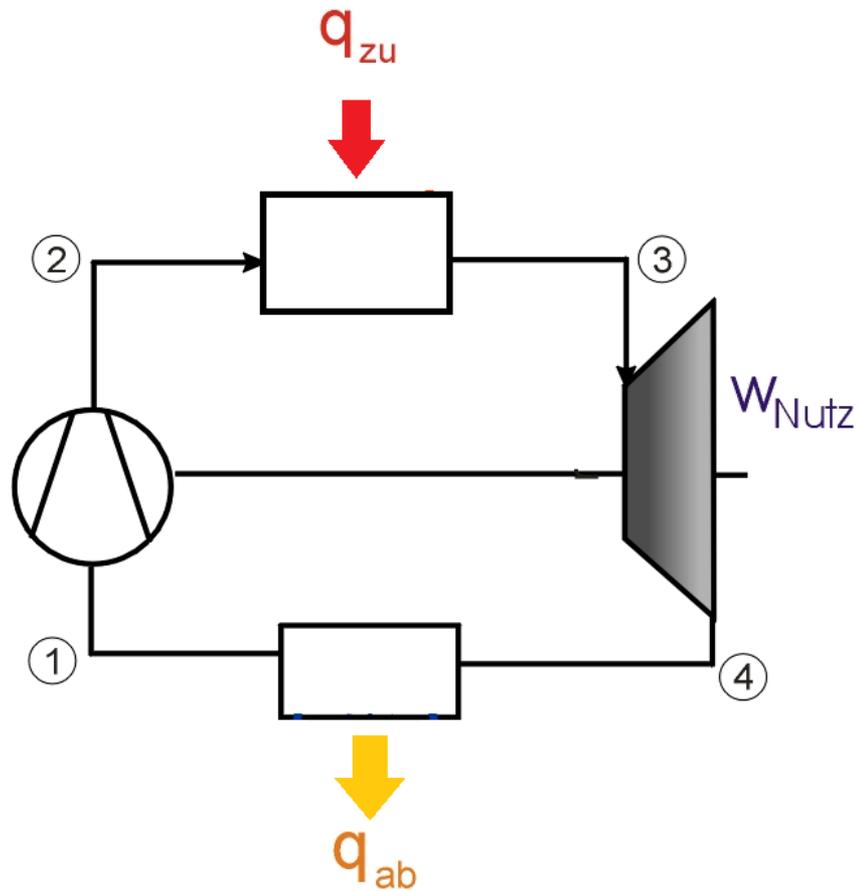
- Hier geht es oft um verrichtete mechanische Arbeit und nicht Wärmeleistung
- <http://www.calpoly.edu/~gthorncr/ME303/documents/csubp.pdf>

Ottomotor



Die Verbrennung im obersten Punkt an als Instantan angenommen werden.
Die Zündung erfolgt im Vergleich zur Rotationsgeschwindigkeit der Pleuelstange so schnell ab, dass die totale Wärmezufuhr fast vollständig im oberen Totpunkt des Pleuels abgeschlossen ist.

Brayton Zyklus / Gasturbinenzyklus



Theorie

Erster thermodynamischer Hauptsatz

$$du = dq - dw$$

1. TdS Gleichung:

$$Tds = du + pdv$$

2. TdS Gleichung:

$$Tds = dh - vdp$$

Enthalpie h

$$h = u + pv$$

IDEALES GAS: $pv = RT$

Konstantes Volumen

$$c_v = (\partial u / \partial T)_v$$

$$du = c_v(T) dT$$

Konstanter Druck

$$c_p = (\partial h / \partial T)_p$$

$$dh = c_p(T) dT$$

$$c_p = c_v + R$$

Isentropen Bedingungen: (ds=0)

$$T_2/T_1 = (p_2/p_1)^{(k-1)/k}$$

$$T_2/T_1 = (v_2/v_1)^{(k-1)}$$

$$p_2/p_1 = (v_1/v_2)^k$$

$$q = 0 = h_2 - h_1 + w_t$$

$$w_t = h_1 - h_2$$

$$\text{Turbine Power} = m_s w_t = m_s (h_1 - h_2)$$

Spezifische Enthalpie idealer Gase hängt nicht vom Druck ab:

$$H = u + p v = u(T) + RT = h(T)$$

Kombinierter Zyklus

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

$$R = c_p - c_v$$

$$c_p = \frac{R}{1 - \frac{1}{\gamma}}$$

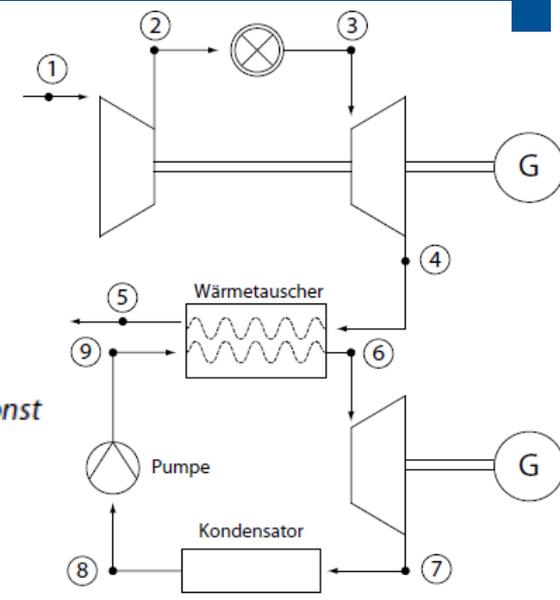
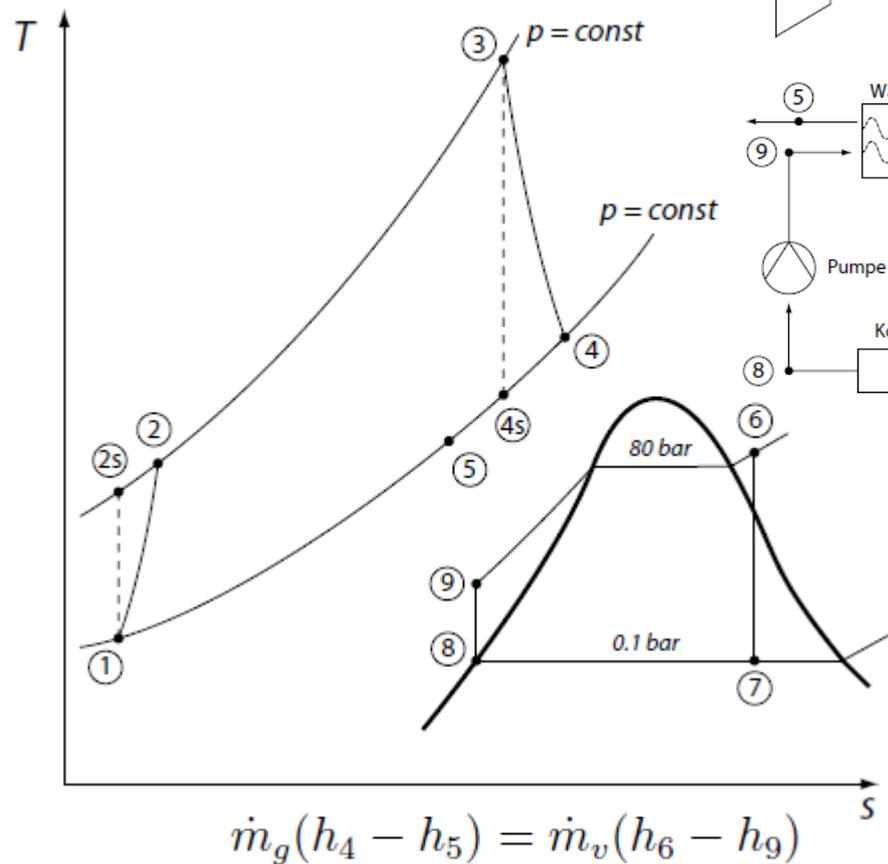
$$h_{2s} = h_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$h_2 = \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{V_{is}}} + h_1$$

$$x_7 = \frac{s_7 - s_f}{s_g - s_f}$$

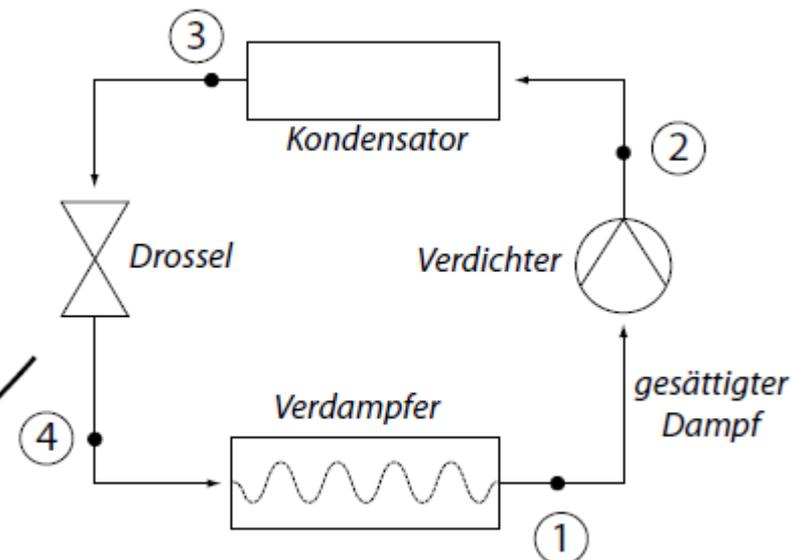
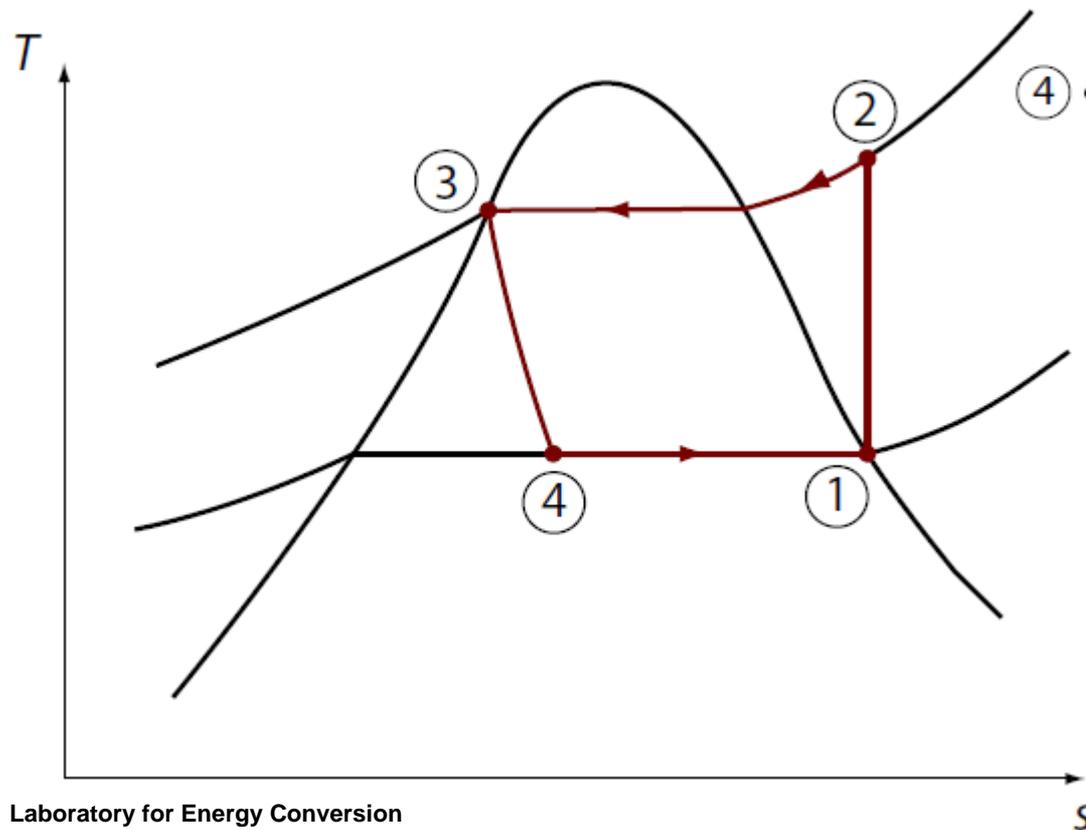
$$h_7 = h_f + x_7(h_g - h_f)$$

$$h_9 = h_8 + v_8(p_9 - p_8)$$



$$\dot{W}_G = \dot{m}_g[(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)] + \dot{m}_v[(h_6 - h_7) - (h_9 - h_8)]$$

Kältemaschine

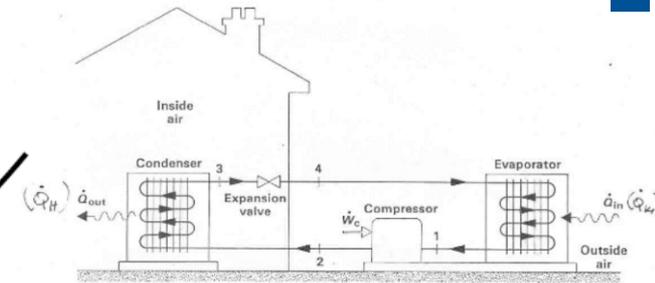
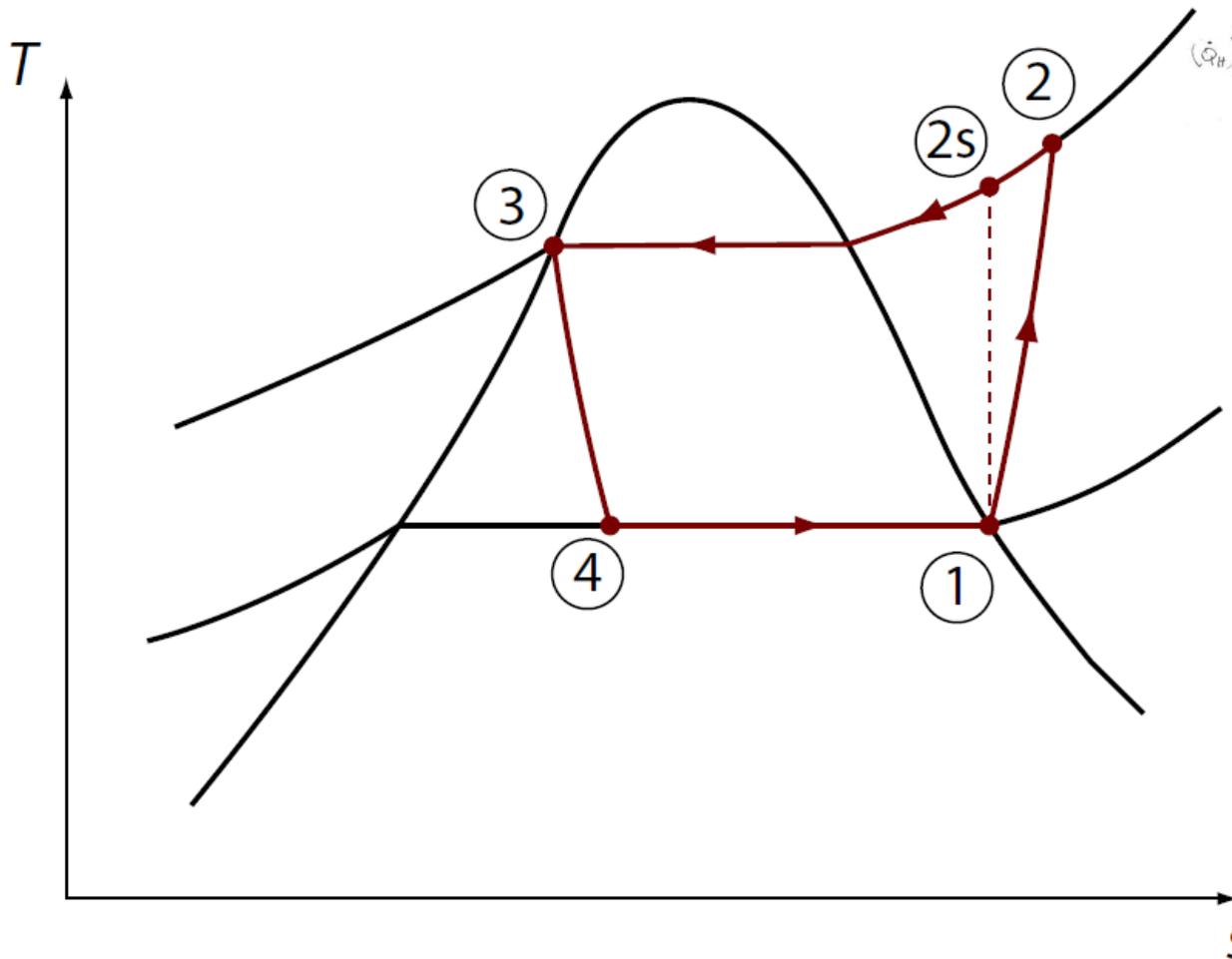


$$\dot{W}_{K\text{ompressor}} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

$$\epsilon_{KM} = \frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{W}_{K\text{ompressor}}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Wärmemaschine



$$\dot{Q}_{out} = \dot{m} (h_2 - h_3)$$

$$\dot{W}_{Kompessor} = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

$$\epsilon_{WP} = \frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{W}_{Kompessor}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

Tipps zur Prüfung

- Alle Aufgaben durchlesen
 - Wichtige Sachen anstreichen:
 - Ideal, gesättigt flüssig, irreversibel, reversibel, etc.
 - Wichtige Sachen strukturiert aufschreiben (gegeben, gesucht)
- Zeit für die Aufgaben einplanen
 - Nach der verstrichenen Zeit weiter gehen
- Löst alle Aufgaben / Serien vorher min. zwei mal durch
- Systeme kennen:
 - Brayton cycle
 - Carnot cycle
 - → auch theoretische Beispiele :
 - CCS (Carbon Capture and Storage)
 - Oxyfuel power plant
 - Graz cycle
 - Combustion engine cycles