

Disclaimer

Dieser Probeklausur in **Thermodynamik I HS2023** habe ich innerhalb von 60min + 5min (Einlesezeit) gelöst.

Mit Institut ZF, TAB auf PC (dh. Keine Lesezeichen eingeklebt) und CASIO fx-991DE CW & CASIO fx-87DE PLUS

Es ist eine Stress-Prüfung, ich habe die nicht vollständig gelöst.

Es dient nur als ein Bsp. wie **ich persönlich** eine Thermo I Prüfung lösen würde. (auch in der Lernphase)

Bitte nimmt das **NICHT** als offizielles Prüfungslösungsbeispiel.

Meine eigene Korrektur ist nur auf Endzahlenwert fokussiert.

Falls Ergebnis korrekt, dann volle Punktzahl. Jedoch kann sein in der echten Prüfung was anders bewertet würde.

Wie ihr sieht, Ich lerne Thermo I jetzt zum 2. Mal, und hab nur 73.417% geschafft, also macht ihr bitte keine große Sorge, wenn ihr nur so um 50% oder weniger habt. Eure Fahrigkeit und Leistung steigen noch steil gegen Ende der Lernphase, deswegen: **Bleib daran!**

ETH Zürich

Laboratory of Energy Science and Engineering
Energy and Process Systems Engineering

Prüfer: Prof. Dr. C. Müller & Prof. Dr. A. Bardow

17.11.2023

08:00 - 9:00 Uhr

Thermodynamik I - Probeprüfung HS23

Die Aufgabenblätter sind am Ende der Prüfung zusammen mit der Arbeit abzugeben.

Beginnen Sie bitte **jede Aufgabe** auf einem **neuen Blatt** und kennzeichnen Sie jedes abgegebene Blatt deutlich mit Ihrem **Namen**, Ihrer **Matrikelnummer** und der **Nummer der bearbeiteten Aufgabe**.

Die **Lösungswege müssen eindeutig und nachvollziehbar sein**, ansonsten kann der jeweilige Aufgabenteil nicht vollständig bepunktet werden.

Die angegebenen Punkte für die jeweilige Aufgabe stellen einen Richtwert dar. Wir behalten uns vor, diese nachträglich **geringfügig** anzupassen.

Name: Fu Vorname: Juncheng

Legi-Nr.: _____

Anzahl abgegebener Blätter: 8

Die Tabelle wird für die Korrektur benötigt - **Bitte nichts eintragen!**

65 min. [5 min Einlesen]

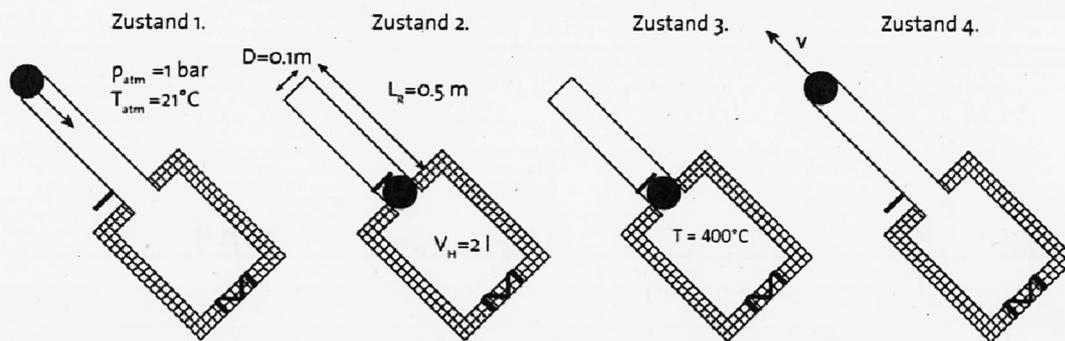
	a	b	c	d	Σ
1.	4	7,5	5	4	20,5
2.	7	1,5	0	0	8,5

~~28~~
 $\frac{29}{39,5} = 73,417\%$

Aufgabe 1: Gaskanone (20.5 Punkte)

Eine Kanone besteht aus einem Rohr (Länge $L_R = 0.5 \text{ m}$, Durchmesser $D = 0.1 \text{ m}$), das mit einem Hohlraum (Volumen $V_H = 2 \text{ L}$) verbunden ist. Um eine Kugel (Masse $m_K = 10 \text{ kg}$) abzufeuern, findet ein Prozess in drei Schritten statt:

- Prozess 1–2: Die Kugel wird von aussen bis zum Hohlraum in das Rohr eingeschoben und komprimiert dabei Luft in Rohr und Hohlraum isotherm. Sobald die Kugel zum Hohlraum gelangt ist, wird ein Riegel vorgeschoben, der die Kugel am Ort festhält.
- Prozess 2–3: Während die Kugel fixiert bleibt, wird die Luft im Innenraum auf eine Temperatur von $T_3 = 400^\circ\text{C}$ erwärmt. *isochor*
- Prozess 3–4: Für den Abschuss wird der Riegel geöffnet, das Gas expandiert und die Kugel im Rohr beschleunigt. Die Expansion geschieht adiabatisch reversibel und endet kurz bevor die Kugel das Rohr verlässt.



Darstellung der vier Zustände

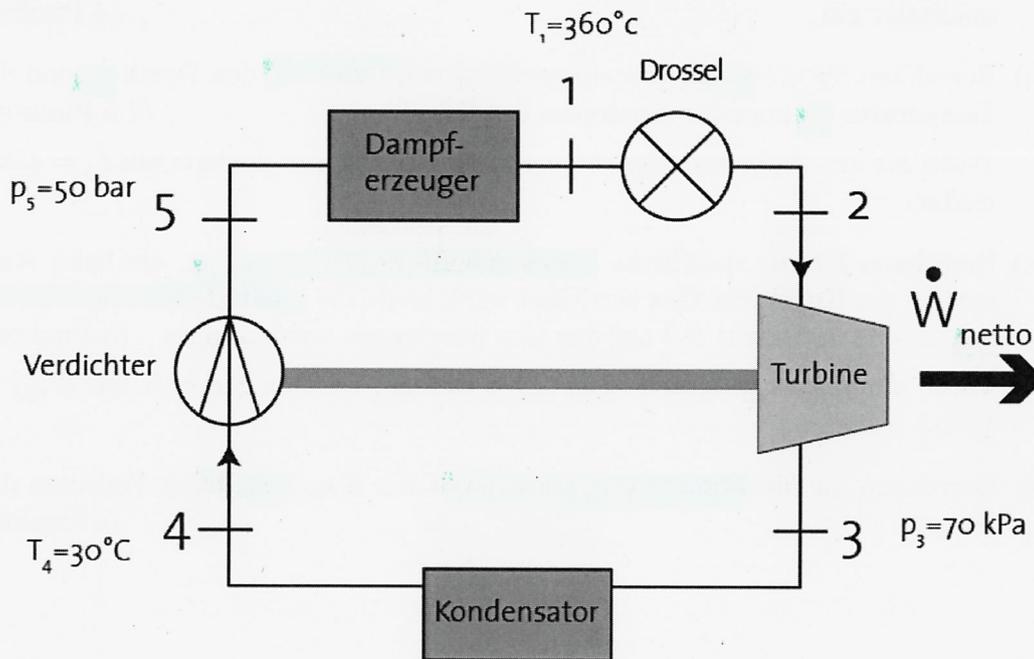
Annahmen:

- Die Luft im Hohlraum und Rohr bildet ein geschlossenes System.
- Die Luft soll als perfektes Gas mit $\kappa = 1.4$ und $R = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$ betrachtet werden.
- Umgebungsdruck: $p_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$, Umgebungstemperatur: $T_{\text{atm}} = 21^\circ\text{C}$
- Das Volumen und die potentielle Energie der Kugel können vernachlässigt werden.
- Es findet keine Wärmeübertragung zwischen Gas und Kugel statt.

Aufgaben:

- a) Zeichnen Sie alle Zustandsänderungen des Prozess in einem p - v -Diagramm qualitativ ein. (4 Punkte)
- b) Berechnen Sie die Masse des eingeschlossenen Gases m , den Druck p_2 und die Temperatur T_4 kurz vor Austreten der Kugel. (7.5 Punkte)
Wenn Sie den Aufgabenteil nicht lösen können, rechnen Sie bitte mit $T_4 = 436$ K weiter.
- c) Berechnen Sie die spezifische Volumenänderungsarbeit $w_{V,34}$, die beim Ausstossen der Kugel vom Gas verrichtet wird, sowie die massenspezifische Wärme q_{23} , welche im Schritt 2-3 auf das Gas übertragen werden muss. (5 Punkte)
Wenn Sie den Aufgabenteil nicht lösen können, rechnen Sie bitte mit $W_{V,34} = 1195$ J weiter.
- d) Berechnen Sie die Austrittsgeschwindigkeit der Kugel w_K beim Verlassen der Kanone. (4 Punkte)

Aufgabe 2: Dampfkraftwerk (19 Punkte)



Kreisprozess des Dampfkraftwerks

Ein Dampfkraftwerk mit Wasser als Arbeitsmittel (Massenstrom $\dot{m} = 5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$) durchläuft den folgenden Kreisprozess:

Prozess 1–2: Isenthalpe Expansion in der Drossel

Prozess 2–3: Adiabate reversible Expansion in der Turbine auf den Druck $p_3 = 70 \text{ kPa}$ und einen Nassdampfanteil von $x_3 = 0.8442$

Prozess 3–4: Isobare Abkühlung auf die Temperatur $T_4 = 30^\circ\text{C}$

Prozess 4–5: Adiabate reversible Kompression auf den Druck $p_5 = 50 \text{ bar}$ und spezifisches Volumen $v_5 = 1.0026 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$

Prozess 5–1: Isobare Erwärmung auf die Temperatur $T_1 = 360^\circ\text{C}$

Annahmen:

- Bei normalem Betrieb ist die Drossel komplett geöffnet, d.h. Zustand 1 und 2 können als ein Zustand beschrieben werden ($T_2 = T_1$ und $p_2 = p_1$).
- Gehen Sie in Aufgabenteil a) bis c) von einem normalem Betrieb der Anlage aus.
- Kinetische und potenzielle Energien können vernachlässigt werden.

Aufgaben:

- a) Berechnen Sie die spezifischen Enthalpien h für die Zustände 1-5. (7 Punkte)

Wenn Sie den Aufgabenteil nicht lösen können, rechnen Sie bitte mit $h_1 = 3000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$, $h_2 = 3000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$, $h_3 = 2200 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$, $h_4 = 110 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$, $h_5 = 120 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ weiter.

- b) Berechnen Sie die spezifische Arbeit $w_{t,23}$, die die Turbine abgibt und die spezifische Wärmen q_{34} und q_{51} , die im Kondensator und Dampferzeuger übertragen werden. (4.5 Punkte)

Wenn Sie den Aufgabenteil nicht lösen können, rechnen Sie bitte mit $w_{t,23} = 800 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$, $q_{34} = 2300 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$, $q_{51} = 3100 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ weiter.

- c) Berechnen Sie Nettoleistung \dot{W}_{net} und den Wirkungsgrad η_{th} des Dampfkraftwerks. (4 Punkte)

Wenn Sie den Aufgabenteil nicht lösen können, rechnen Sie bitte mit $\dot{W}_{\text{net}} = 3700 \text{ kW}$, $\eta_{\text{th}} = 0.35$ weiter.

- d) Nun sinkt plötzlich die Elektrizitätsnachfrage am Stromnetz. Mithilfe der Drossel soll die Nettoleistung reduziert werden. Dazu wird der Druck p_2 auf 10 bar reduziert. Berechnen Sie die neue Nettoleistung \dot{W}'_{net} , die das Kraftwerk nun abgibt.

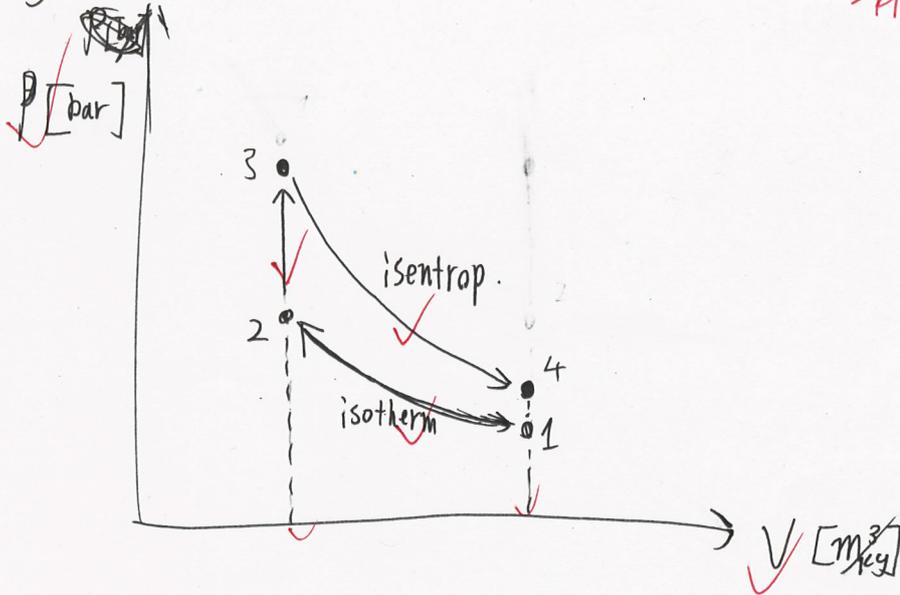
Hinweis: Zustände 1, 4 und 5 sowie der Druck p_3 bleiben unverändert. In Zustand 3 stellt sich nun ein Nassdampfanteil von $x'_3 = 0.9551$ ein.

(3.5 Punkte)

1

A1. $\frac{20,5}{20,5}$

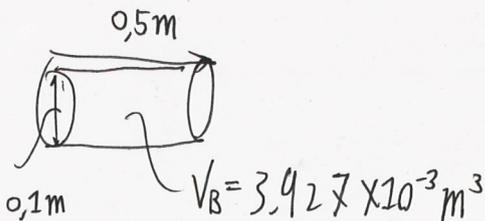
4P a)



7,5P b) m, p_2, T_4 .

$$p_1 V_1 = m R T_1 \Rightarrow m = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{100 \text{ kPa} \cdot V_{\text{tot}}}{0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 294,15 \text{ K}} = \underline{\underline{7,02076 \times 10^{-3} \text{ kg}}}$$

$$V_{\text{tot}} = V_H + V_B = 5,927 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$



$$2L = \frac{2}{1000} \text{ m}^3$$

$$p_2 V_H = m R T_2 \quad \rightarrow T_2 = T_1$$

$$p_2 = \frac{m R T_2}{V_H} = 296,35 \text{ kPa}$$

$$= \underline{\underline{2,9635 \text{ bar}}}$$

2

b)

$$P_3 V_3 = m R T_3 \quad P_3 = \frac{m R T_3}{V_3} = 6,7818 \text{ bar.}$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\kappa-1} \Rightarrow T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{0,4} = \underline{435,9 \text{ K}}$$

$$V_3 = V_H$$

$$V_4 = V_{tot} = 5,927 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

5P c)

$$w_{v,34}^{rev} = \frac{R(T_4 - T_3)}{1 - \kappa} = 170,2268 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$T_2 = 294,15 \text{ K. } T_3 = 673,25 \text{ K. } \Delta u = q - w = c_v(\Delta T)$$

$$R = c_p - c_v \quad \kappa = \frac{c_p}{c_v} \quad q_{34} = c_v(T_3 - T_2) = 271,9325 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$c_p = R + c_v \quad c_v = \frac{c_p}{\kappa}$$

~~$$c_v = \frac{c_p}{\kappa}$$~~

$$c_v = \frac{R + c_v}{\kappa}$$

$$\text{solve} \Rightarrow c_v = 717,5 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

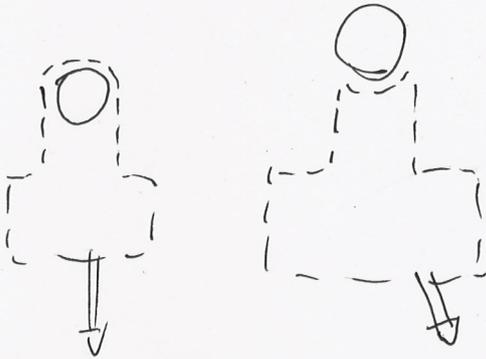


4pd) ω_k .

~~$\Delta E = Q - W_{V,34}$~~ $\overset{0, \text{ adiab.}}{\nearrow}$

~~$\Delta U + \Delta KE = \overset{0}{Q} - W_{V,34}$~~

\uparrow 1195 J alt. wert.



$\overset{0, \text{ adiab.}}{\nearrow}$

$\Delta E = \overset{0}{Q} - W$

$\Delta U + \Delta KE = -W$

$\overset{0, \text{ adiab.}}{\nearrow}$

$\Delta E = \overset{0}{Q} - W_{V,34}$

\uparrow 1195 J. Alt. wert.

$\Delta U = -1195 \text{ J}$

$m \cdot c_v (T_4 - T_3) = -1195 \text{ J}$

$-W_{V,34} + \Delta KE = - \int_{V_H}^{V_{\text{tot}}} p_{\text{atm}} dV = - [100 \text{ kPa} \cdot 3,927 \times 10^{-3} \text{ m}^3] = -0,3927 \text{ kJ}$

$\Delta KE = W_{V,34} - 392,7 \text{ J} = 802,3 \text{ J} = m_k \cdot \frac{\omega_k^2}{2}$

$\omega_k = 12,667 \text{ m/s}$

4

A2

8,5/19

a) 7P

$$h_3 = h_f + \chi_3 (h_g - h_f) = \frac{2304,26 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{\text{TAB, A3}}$$

$$\begin{array}{c} \uparrow \\ 376,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ \uparrow \\ 2660 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array}$$

$$P_3 = 70 \text{ kPa} = 0,7 \text{ bar.}$$

$$\left(P_3 = P_4 = 0,7 \text{ bar. } T_4 = 30^\circ\text{C.} \right)$$

compressed Fluid.

~ 0,04 bar. NO

$$h_4 \approx h_f(30^\circ\text{C}) + V_f (70 \text{ kPa} - 4,246 \text{ kPa}) = \frac{125,856 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{\text{TAB A2}}$$

$$\begin{array}{c} \uparrow \\ 125,79 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ \uparrow \\ 1,0043 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg} \end{array}$$

h_5

compressed Water. TAB A5.

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

$$10026 \xrightarrow[1,0056]{0,9995} \begin{array}{c} h [\text{kJ/kg}] \\ 88,65 \\ 17197 \end{array} \xrightarrow{\text{lerp.}} \frac{130,99295 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{\text{TAB A5}} = h_5$$



a)

~~A1 =~~

50 bar 360°C. Vapor. ~ sat. 264°C
~~...~~
 Super heated Vapor, TAB A4

40 bar 360°C 3117,2 50 bar 60 bar 3071,1
 ↓
 lerp. $\Rightarrow h_1 = 3094,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$$h_2 = h_1 = 3094,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

b)

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m}(h_2 - h_3) + \overset{\text{adiab.}}{\dot{Q}} - \dot{W}$$

$$0 = (h_2 - h_3) - \dot{W}_{t,33}$$

$$\dot{W}_t = h_2 - h_3 = 800 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad 1,5 \text{ P.}$$

↑ ↑
alt. Wert.

Time Up.

A2, b) unvollständig
 c) Ungelöst.
 d) Ungelöst.