



# Thermodynamik I HS 15

## Prüfung

1. Februar 2016  
9:00 – 11:00 Uhr

Name: \_\_\_\_\_ Vorname: \_\_\_\_\_

Legi-Nr.: \_\_\_\_\_

Anzahl abgegebener Blätter: \_\_\_\_\_

### Hinweise:

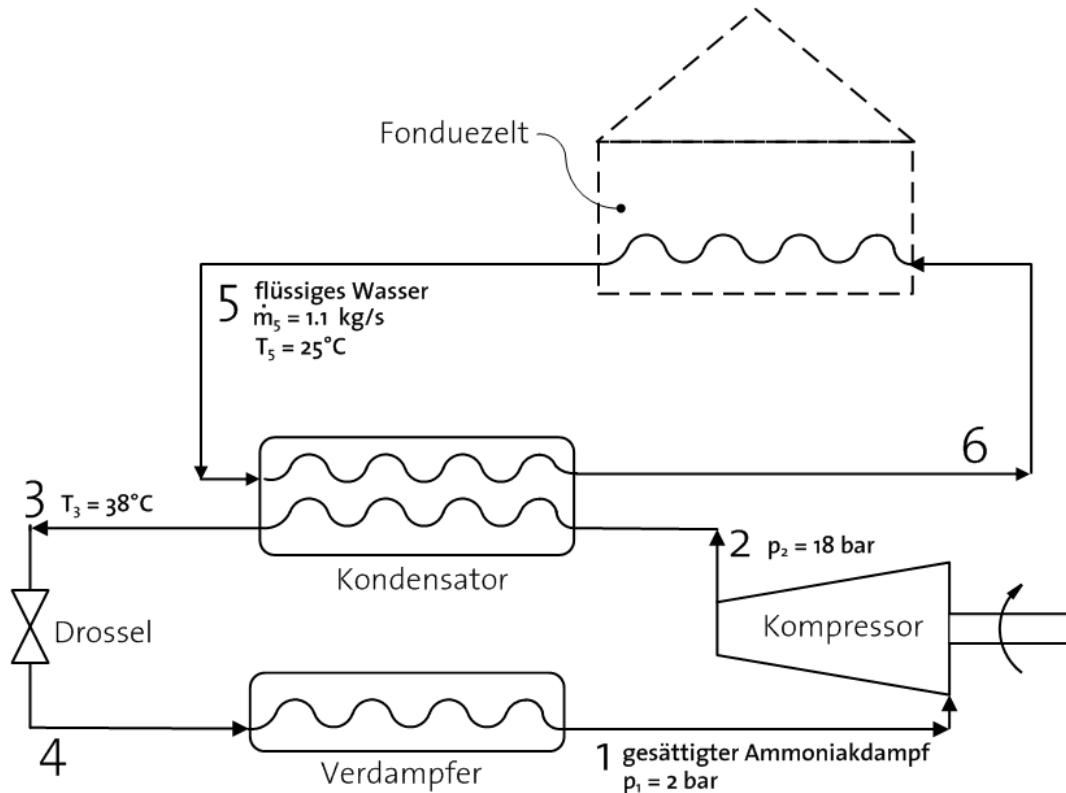
- Verwenden Sie für jede Aufgabe ein neues Blatt.
- Schreiben Sie auf jedes Blatt Ihren Namen und Ihre Matrikelnummer.
- Legen Sie nach der Prüfung alle Lösungen in die Aufgabenstellung.
- Schreiben Sie NICHT mit Bleistift oder roten und grünen Farben.
- Schreiben Sie jeden Zwischenschritt und jedes Zwischenresultat auf.
- Runden Sie die Ergebnisse sinnvoll.
- Geben Sie bei Tabellenwerten immer an, aus welcher Tabelle sie stammen.
- Mehrfache Lösungsvarianten werden nicht bewertet.
- Unmotivierte Lösungsversuche bekommen keine Punkte.

Erlaubte Hilfsmittel: 4 A4-Blätter eigene Zusammenfassung, Taschenrechner (gemäss Einschränkungen), Tabellen, Zusammenfassung LTNT, keine Musterlösungen

Aufg.	Punkte	Max.	1.Korrektur	2. Korrektur
1		28		
2		23		
3		13		
4		16		
Total		80		

**Aufgabe 1 – Eisfeld auf Polyterrasse (~35% der Punkte)**

Das alljährliche Eisfeld auf der Polyterrasse wird über einen stationär arbeitenden Ammoniakkreislauf gekühlt. Der Kompressor ist adiabat und hat einen Isentropenwirkungsgrad von 84%. Der Kondensator sowie der Verdampfer werden als isobar angenommen und die Drossel wird als isenthalp betrachtet. Die Enthalpie im flüssigen Zustand kann als Funktion der Temperatur alleine angeschaut werden. Alle weiteren Angaben finden Sie in der Zeichnung. Für die Aufgabenteile a) bis d) brauchen Sie nur den Ammoniakkreislauf zu beachten.



- Berechnen Sie die Temperatur, die spezifische Enthalpie und die spezifische Entropie in den Zuständen 1 bis 4.
- Skizzieren Sie den Ammoniakkreislauf im T-s-Diagramm. Liegt der Zustand 2 im T-s Diagramm höher als das 2-Phasengebiet? Erklären Sie.
- Berechnen Sie die Leistungsziffer der Kältemaschine.

Am Tag von 10 bis 17 Uhr beträgt der Kühlbedarf der Eisfelds 400 kW, sonst 100 kW.

- Wieviel Energie (in kWh) benötigt die Eisfeldkühlung an einem vollen Tag?
- Die Abwärme vom Kondensator wird genutzt um am Abend das Fonduezelt zu heizen. Bei der Übertragung der Wärme an den Wasserkreislauf gehen 20% verloren. Bestimmen Sie die Temperatur  $T_6$  des heißen Wassers (inkompressibel). Wieviel Heizenergie kann man dadurch an einem Abend (von 18 bis 22 Uhr) sparen?

**Aufgabe 2 – Kreisprozess** (~30% der Punkte)

In einem geschlossenen System durchläuft ein unbekanntes ideales Gas mit  $\kappa = 1.67$   $c_v = 3.099 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$  den folgenden Kreisprozess:

- 1-2: Isobare Abkühlung von  $T_1 = 1200 \text{ K}$  auf  $T_2 = 700 \text{ K}$ .
- 2-3: Isotherme Expansion von  $v_2 = 1.11 \text{ m}^3/\text{kg}$  auf  $v_3 = 6.61 \text{ m}^3/\text{kg}$
- 3-4: Adiabats-reversible Kompression
- 4-1: Polytrope Kompression mit  $n = 1.3$

- a) Skizzieren Sie den Prozess im p-v Diagramm.
- b) Berechnen Sie das spezifische Volumen (in  $\text{m}^3/\text{kg}$ ) und die Temperatur (in K) in jedem Zustand.
- c) Handelt es sich hier um eine Wärme-Kraft-Maschine oder eine Kältemaschine? Begründen Sie. Berechnen Sie je nachdem entweder den thermischen Wirkungsgrad  $\eta_{th}$  oder die Leistungsziffer  $\varepsilon_K$ .
- d) Um welchen Stoff könnte es sich handeln? Begründen Sie.

**Aufgabe 3 – Whiskysteine** (~15% der Punkte)

Nach bestandener Prüfungsblok 1 genießt ein ETH Student einen Whisky. Das Getränk soll kalt sein, aber nicht verwässert. Deshalb verwendet der Student Steinwürfel mit Seitenlänge 2.4 cm anstelle von Eiswürfeln. Die Steine wurden zuvor im Gefrierfach gekühlt. Das System beinhaltet das Glas, den Whisky und die Steine. Für Aufgabe a) und b) kann das System als isoliert betrachtet werden. Der Whisky, das Glas und die Steine können als inkompressibel betrachtet werden.



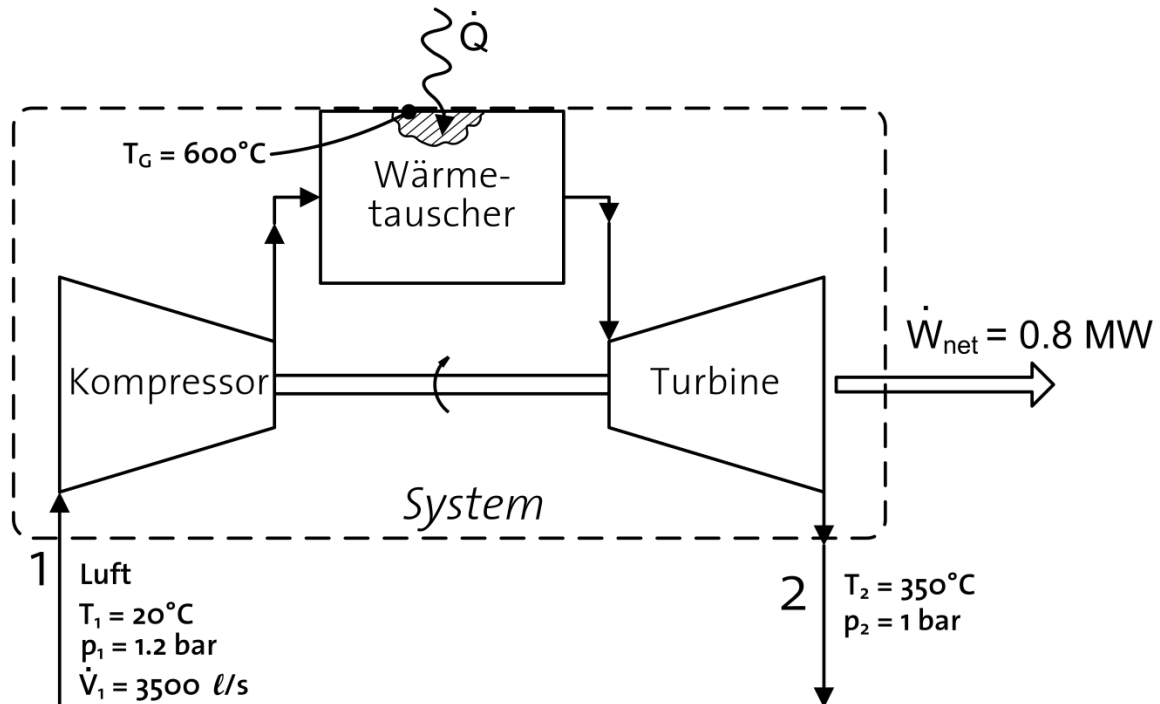
Die Stoffwerte und Anfangstemperaturen  $T_i$  sind

- Glas:  $m_G = 120 \text{ g}$  ,  $c_G = 0.70 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$   
 $T_{i,G} = 25^\circ\text{C}$
- Whisky:  $V_W = 60 \text{ ml}$  ,  $c_W = 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$   
 $\rho_W = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  ,  $T_{i,W} = 25^\circ\text{C}$
- 1 Stein:  $c_S = 0.98 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$  ,  $\rho_S = 2.75 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$   
 $T_{i,S} = -16^\circ\text{C}$

- a) Nehmen Sie an, dass das Glas, der Whisky und die Steine kurze Zeit nach dem Mischen die gleiche Temperatur haben. Wie viele Steinwürfel muss der Student zugeben, um den Whisky unter  $10^\circ\text{C}$  zu kühlen? Was ist dann die Temperatur des Whiskys?
- b) Wie gross ist die erzeugte Entropie beim Mischen?
- c) Der Student hat vergessen zu trinken, das gesamte System hat sich von der kalten Temperatur ( in a) berechnet ) wieder auf  $25^\circ\text{C}$  aufgewärmt. Wie gross ist die dabei erzeugte Entropie?

**Aufgabe 4 – Exergieberechnungen bei einer Gasturbine** (~20% der Punkte)

Betrachten Sie eine stationär arbeitende Gasturbine. Die Turbine und der Kompressor arbeiten adiabatisch, die Brennkammer wird mit einem Wärmetauscher vereinfacht. Die Turbine und der Kompressor sind mechanisch gekoppelt, d.h. ein Teil der in der Turbine erzeugten Leistung wird gebraucht, um über eine direkte mechanische Verbindung den Kompressor anzutreiben. Der Rest der Leistung – die Nettoleistung – wird aus dem System abgeführt. Die Umgebungsbedingungen sind  $T_o = 20^\circ\text{C}$  und  $p_o = 1\text{ bar}$ . Änderungen in der kinetischen und potentiellen Energie können vernachlässigt werden. Die Luft kann als ideales Gas betrachtet werden. Alle anderen Angaben sind in der Abbildung dargestellt:



- Berechnen Sie die Rate der zugeführten Exergie des eingezeichneten Wärmeübergangs.
- Berechnen Sie die Strömungsexergiedifferenz ( $\dot{E}x_{\text{str},2} - \dot{E}x_{\text{str},1}$ ).
- Berechnen Sie die Rate der Verlustexergie des Systems.