

# Thermodynamik I – Rechenübung 11

## Aufgabe 1

Wasser in einem Kolben – Zylinder System durchläuft einen Kreisprozess. Der Kreisprozess besteht aus 4 reversiblen Teilprozessen:

Prozess 1–2: Isotherme Expansion von  $T_1 = 250^\circ\text{C}$  und  $x_1 = 80\%$  bis zu einem Druck von  $p_2 = 2\text{MPa}$

Prozess 2–3: Adiabate Expansion zu  $T_3 = 473\text{K}$

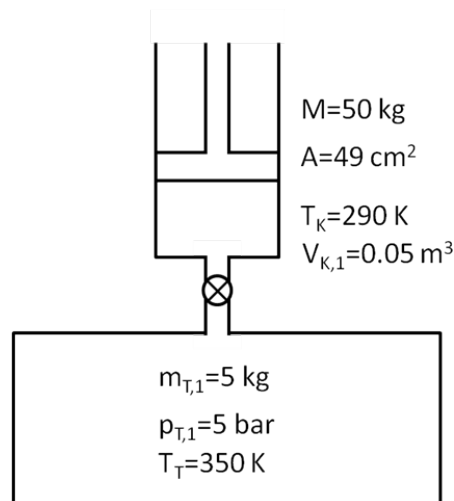
Prozess 3–4: Isotherme Kompression

Prozess 4–1: Adiabate Kompression

- Zeichnen Sie den Kreisprozess qualitativ in ein  $p$ – $v$  Diagramm ein.
- Bestimmen Sie die spezifische Arbeit und die spezifische Wärmeübertragung für jeden Teilprozess.
- Bestimmen Sie die spezifische Entropieerzeugung pro Zyklus.
- Berechnen Sie den thermischen Wirkungsgrad des Kreisprozesses.
- Die oben beschriebene Maschine arbeitet zwischen zwei unendlichen Wärmereservoirs. Könnte man eine höhere Effizienz aus dem Temperaturunterschied der Wärmereservoirs gewinnen? Begründen Sie ihre Antwort.

## Aufgabe 2

Ein Tank mit  $m_{T,1} = 5\text{kg}$  Stickstoff hat im Anfangszustand einen Druck  $p_{T,1} = 5\text{bar}$  und eine Temperatur  $T_T = 350\text{K}$ . Der Tank ist über ein Ventil mit einem Kolbensystem verbunden. Der Kolben hat eine Masse  $M = 50\text{kg}$  und eine Querschnittsfläche  $A = 49\text{cm}^2$ . Der Kolben ist frei beweglich, so dass sein Gewicht für einen konstanten Druck sorgt. Der Stickstoff im Kolbensystem hat eine Temperatur  $T_K = 290\text{K}$  und ein Anfangsvolumen von  $V_{K,1} = 0.05\text{m}^3$ . Das Ventil wird geöffnet, so dass ein Teil des Inhaltes des Tanks langsam bei einer Eintrittstemperatur von  $350\text{K}$  ins Kolbensystem fließen kann. Der Vorgang verläuft so langsam, dass sowohl der Tank als auch das Kolbensystem während des Fliessvorgangs eine konstante Temperatur haben. Das Ventil wird geschlossen, sobald der Tank den Druck  $p_{T,2} = 3\text{bar}$  erreicht. Der Umgebungsdruck beträgt  $p_0 = 1\text{bar}$ . Die Masse des Stickstoffs



und der Wärmetransfer in der Verbindung zwischen Kolben und Tank können vernachlässigt werden. Stickstoff kann als ideales Gas betrachtet werden. Kinetische und potentielle Effekte können vernachlässigt werden.

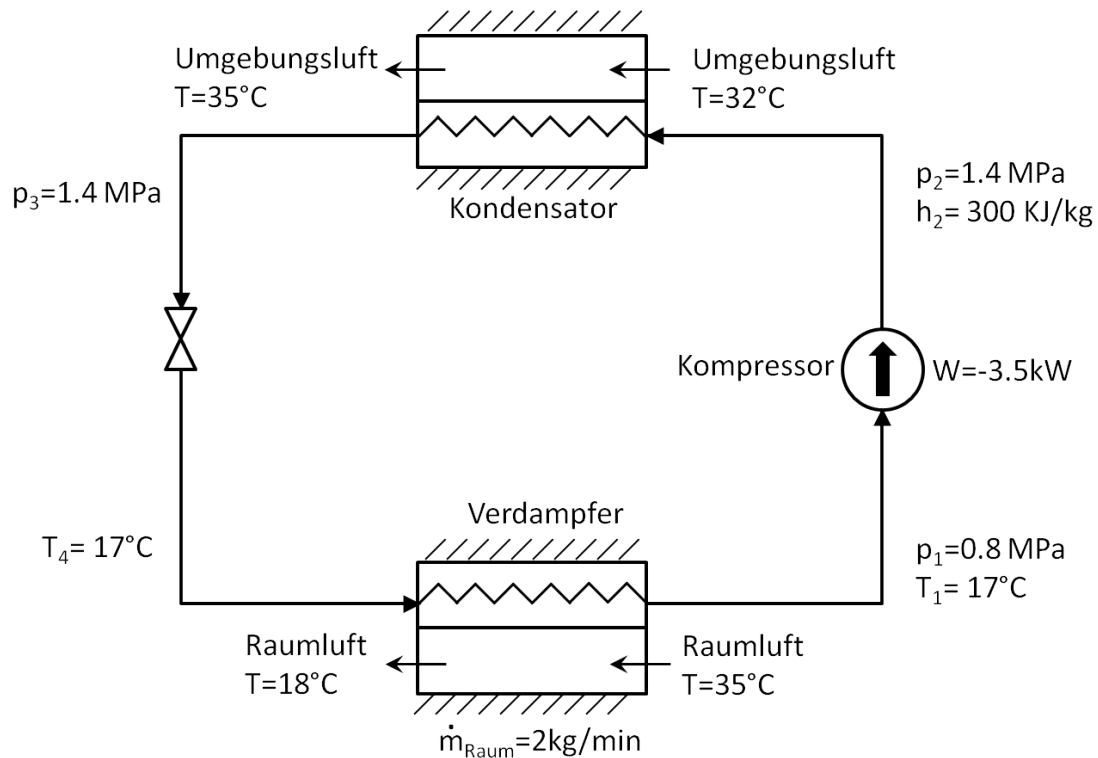
- Bestimmen Sie die Masse des Gases welche vom Tank ins Kolbensystem fließt
- Berechnen Sie die Richtung und Menge der Wärme, welche das Kolbensystem (ohne Tank) während des Fliessvorgang verlässt oder zugeführt wird
- Bestimmen Sie die erzeugte Entropie des Gesamtsystems zwischen Anfangs- und Endzustand.

### Aufgabe 3

Ein Hochdruckreiniger wird benutzt um das Dach eines Hochhauses zu reinigen. Dazu wird ein  $5 \text{ l/min}$  grosser Wasserstrom bei einer Temperatur von  $20^\circ\text{C}$  durch eine  $5\text{cm}^2$  grosse Öffnung in den Kompressor gezogen. Durch den Kompressor wird auf dem 50 Meter höher gelegenen Dach ein Wasserstrahl der Geschwindigkeit  $50 \text{ m/s}$  erzeugt. Die Wassertemperatur ist dabei um ein Grad auf  $21^\circ\text{C}$  gestiegen. Im stationären Betrieb strahlt der Kompressor 40% der verbrauchten Leistung als Wärme ab, deshalb hat sich das Gehäuse des Kompressors auf eine konstante Oberflächentemperatur von  $35^\circ\text{C}$  erhöht. Die Umgebungsbedingungen entsprechen  $15^\circ\text{C}$  und 1 bar.

- Berechnen Sie notwendige Arbeit des Kompressors
- Bestimmen Sie die Exergiedifferenz  $\dot{E}x_2 - \dot{E}x_1$  des Wasserstrahls und die Exergieverlustrate des Kompressors.

## Aufgabe 4



Eine Klimaanlage arbeitet stationär mit dem Kühlmittel R-22. Die Klimaanlage besteht aus einem Kompressor, einem Kondensator, einem Verdampfer und einem Expansionsventil. Der Verdampfer kühlt einen Raumluftestrom von  $\dot{m} = 2 \text{ kg/min}$  von  $35^\circ\text{C}$  auf  $18^\circ\text{C}$ . Der Kompressor verbraucht  $3.5 \text{ kW}$  und sein Gehäuse hat eine konstante Oberflächentemperatur von  $50^\circ\text{C}$ . Der massenspezifische Wärmestrom, welcher durch den Kondensator an die Umgebungsluft abgegeben wird, beträgt  $60 \text{ kJ/kg}$ . Die wichtigen Zustandsgrößen des Kühlmittels finden Sie in der Zeichnung. Das Ventil und die Leitungen zwischen den einzelnen Komponenten sind perfekt isoliert. Die Umgebungsbedingungen entsprechen  $p_0 = 1 \text{ bar}$  und  $T_0 = 32^\circ\text{C}$ . Kinetische und potentielle Effekte können vernachlässigt werden. Der Druckabfall der Luft durch die Wärmetauscher (Kondensator, Verdampfer) ist ebenfalls vernachlässigbar. Der Kondensator und der Verdampfer sind gegenüber der Umgebung vollständig isoliert. Die Luft kann als ideales Gas angenommen werden.

- Berechnen Sie den nötigen Massenstrom des Kühlmittels.
- Bestimmen Sie den Wärmestrom, welcher vom Kompressor an die Umgebung abgegeben wird.
- Bestimmen Sie die jeweilige Exergiedifferenz für beide Luftströme (Raum- und Umgebungsluft).