



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Departement Maschinenbau und Verfahrenstechnik

Institut für Energietechnik
Laboratorium für Thermodynamik in
neuen Technologien
Labor für Kernenergiesysteme

Prof. Dimos Poulikakos
Prof. Horst-Michael Prasser

Thermodynamik I Sommersession 2009

Prüfung

21. August 2009
9:00 – 11:00 Uhr

Vorname: _____ Nachname: _____

Legi-Nr.: _____

Anzahl abgegebener Blätter: _____

Hinweise:

- Verwenden Sie für jede Aufgabe ein neues Blatt.
- Schreiben Sie auf jedes Blatt Ihren Namen und Ihre Leginummer.
- Legen Sie nach der Prüfung alle Lösungsblätter in die Aufgabenstellung.
- Schreiben Sie NICHT mit Bleistift, roten oder grünen Stiften.
- 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.

Erlaubte Hilfsmittel: 4 A4-Blätter eigene Zusammenfassung, Taschenrechner, Tabellen, Zusammenfassung LTNT.

Aufgabe	Punkte	Max.	1. Korrektur	2. Korrektur
1		3		
2		5		
3		7		
4		12		
Total		27		

Aufgabe 1 – Einströmende Luft (3 Punkte)

An einem luftleeren (Vakuum-) Behälter mit einem Volumen von $V = 7 \text{ l}$ wird ein Ventil geöffnet. Dabei strömt Umgebungsluft mit einem Druck von $p = 100 \text{ kPa}$ und einer Temperatur von $T = 17^\circ\text{C}$ ein. Nach einer gewissen Zeit stellt sich durch Wärmeübergang ein thermisches und mechanisches Gleichgewicht zwischen der Luft im Behälter und der Umgebungsluft ein.

Bestimmen Sie den Nettowärmeübergang durch die Behälterwand während des Füllprozesses.

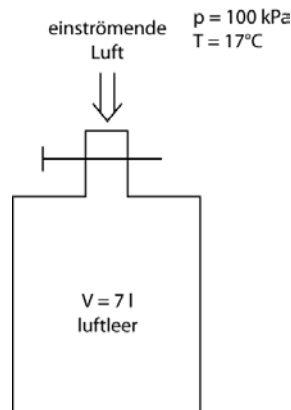


Abb. 1: Einströmende Luft in einen luftleeren Behälter.

Aufgabe 2 – Entropieerzeugung bei Abschreckung (5 Punkte)

Ein Eisenklotz ($m_{\text{Eisen}} = 50 \text{ kg}$, $c_{p,\text{Eisen}} = 0.450 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$) und ein Kupferklotz ($m_{\text{Kupfer}} = 20 \text{ kg}$, $c_{p,\text{Kupfer}} = 0.386 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$), beide $T_o = 75^\circ\text{C}$ heiss, werden in einem „unendlich“ grossen Wasserbad abgeschreckt. Das Wasserbad hat eine Temperatur $T_\infty = 15^\circ\text{C}$, und es stellt sich ein thermisches Gleichgewicht ein.

- Bestimmen Sie die vom Wasserbad aufgenommene Wärme.
- Bestimmen Sie die jeweilige Entropieänderung des Eisenklotzes und des Kupferklotzes.
- Bestimmen Sie die gesamte Entropieerzeugung im System.

Hinweis: Die Entropieänderung eines Festkörpers kann analog zur Entropieänderung einer idealen Flüssigkeit berechnet werden.

Aufgabe 3 – Exergieverlust bei Wärmeaustausch (7 Punkte)

Ein Tank ($V_T = 0.05 \text{ m}^3$) ist mit Luft (ideales Gas) gefüllt ($p_{L,1} = 200 \text{ kPa}$, $T_{L,1} = 22^\circ\text{C}$, $c_{p,L} = 1.005 \text{ (kJ/kg}\cdot\text{K)}$, $c_{v,L} = 0.718 \text{ (kJ/kg}\cdot\text{K)}$). Dieser Tank wird mit flüssigem, heissem Wasser ($V_W = 15 \text{ l}$, $T_{W,1} = 90^\circ\text{C}$, $c_{p,W} = 4.180 \text{ (kJ/kg}\cdot\text{K)}$, $\rho_W = 1'000 \text{ kg/m}^3$) befüllt, ohne dass Luft aus dem Tank entweicht. Nach erfolgtem Wärmeaustausch zwischen dem Wasser, der Luft und der Umgebung haben Luft und Wasser im Tank eine Temperatur von $T_2 = 44^\circ\text{C}$ angenommen. Die Umgebungstemperatur beträgt $T_\infty = 22^\circ\text{C}$. Wasserverdampfungseffekte können vernachlässigt werden.

- Bestimmen Sie den Wärmeverlust an die Umgebung während des Einstellens des thermischen Gleichgewichts.
- Bestimmen Sie die jeweilige Entropieänderung des Wassers und der Luft.
- Bestimmen Sie den Exergieverlust des Prozesses.

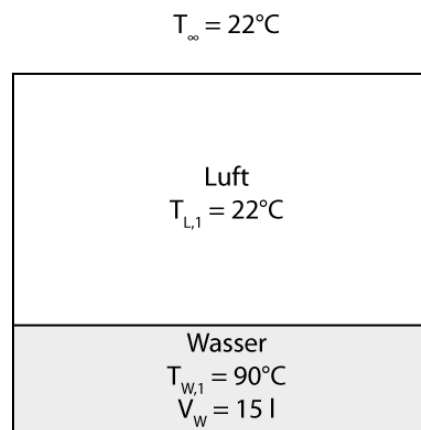


Abb. 2: Wärmeaustausch zwischen Luft, Wasser und der Umgebung.

Aufgabe 4 – Geothermische Wärmepumpe (12 Punkte)

Ein Raum wird mit Hilfe einer Wärmepumpenanlage auf eine konstante Temperatur ($T = 25^\circ\text{C}$) beheizt. Dies wird erreicht, indem das Kältemittel R-134a in einem isobar arbeitenden Kondensator Wärme abgibt bis das Kältemittel einen gesättigt flüssigen Zustand erreicht hat.

Zuvor wird einem geothermisch aufgeheizten Wasserstrom ($\dot{m}_w = 0.065 \text{ kg/s}$, $c_{p,w} = 4.180 \text{ (kJ/kg}\cdot\text{K)}$) in einem Verdampfer Wärme entzogen (Eintrittstemperatur $T_{w,\text{ein}} = 50^\circ\text{C}$, Austrittstemperatur $T_{w,\text{aus}} = 40^\circ\text{C}$). Gleichzeitig tritt das Kältemittel bei einer Temperatur von $T_4 = 20^\circ\text{C}$ und einem Dampfgehalt von $x = 26.5\%$ in den isobar arbeitenden Verdampfer ein und verlässt ihn wieder als gesättigter Dampf (idealer Wärmetauscher ohne Verluste). Im nachfolgenden isentrop arbeitenden Kompressor verliert das Kältemittel $\dot{Q}_{\text{Verlust}} = 300 \text{ W}$ Wärmemenge an die Umgebung und verlässt den Kompressor bei einem Druck von $p_2 = 1.4 \text{ MPa}$. Das Expansionsventil arbeitet isenthalp.

- Zeichnen Sie das T-s Diagramm für die Wärmepumpe.
- Bestimmen Sie den stattfindenden Wärmetausch vom geothermisch aufgeheizten Wasser zum Kältemittel im Verdampfer.
- Bestimmen Sie den Massenstrom \dot{m}_k des Kältemittels.
- Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz ΔT_{23} zwischen dem Eingang und dem Ausgang des Kältemittels im isobar arbeitenden Kondensator.
- Bestimmen Sie die abgegebene Wärme \dot{Q}_H im Kondensator und geleistete Arbeit \dot{W} im Kompressor.
- Bestimmen Sie die Leistungszahl ε_w der Wärmepumpe.
- Bestimmen Sie die theoretisch maximale Leistungszahl $\varepsilon_{w,\text{max}}$ der Wärmepumpe unter der Annahme, dass alle Prozesse reversibel arbeiten und die Zustandsbedingungen 1, 2, 3 und 4 gleich bleiben.

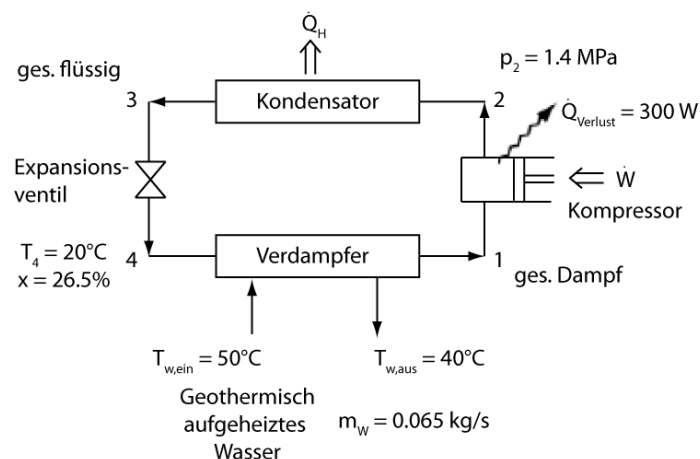


Abb. 3: Geothermische Wärmepumpe.