



Thermodynamik I

Wintersession 2011

Prüfung

27. Januar 2011
14:00 – 16:00 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 Leginummer.
- 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.

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

Aufgabe	Punkte	Max.	1. Korrektur	2. Korrektur
1		10		
2		13		
3		9		
4		8		
Total		40		

Aufgabe 1 – Behälter mit Membrantrennwand (10 Punkte)

In einem geschlossenen, starren Behälter (siehe Abb. 1) befinden sich gesättigter Wasserdampf ($x=1$) und Luft. Eine undurchlässige, isolierende und starre Membran trennt die Substanzen, so dass keine Durchmischung stattfindet. Am Anfang ist der Druck in beiden Behälterhälften 3 bar , das Volumen ist konstant und je 1 m^3 .

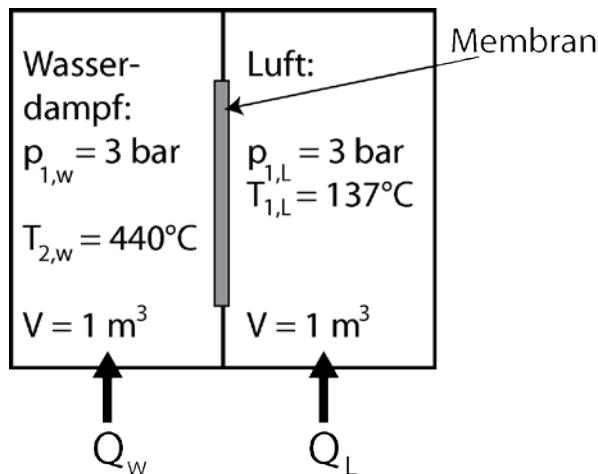


Abb. 1: starrer Behälter mit Membrantrennwand

- Der anfangs gesättigte Wasserdampf wird auf $T_{2,w} = 440^\circ\text{C}$ erhitzt: Zeichnen Sie diesen Prozess (für den Wasserdampf, inklusive zugehöriger Isothermen) qualitativ in ein p-v Diagramm ein,
- Berechnen Sie den Druck $p_{2,w}$ des Wasserdampfs nach dem Erhitzen,
- Berechnen Sie die Wärmemenge Q_w , die der Behälterhälfte mit dem Wasserdampf zugeführt wurde.
- Betrachten Sie nun die Kammer mit der Luft bei Anfangstemperatur $T_{1,L} = 137^\circ\text{C}$: Berechnen Sie den Enddruck $p_{2,L}$ in dieser Behälterhälfte für den Fall, dass simultan die gleiche Wärmemenge $Q_L = Q_w$ an die Luftpumpe abgegeben wurde.
- Falls die Membran maximal einen Druckunterschied von 0.8 bar aushalten kann, würde sie der Druckdifferenz (Δp_2) zwischen den beiden Kammern nach der Wärmeaufnahme in beiden Kammerhälften immer noch standhalten?

Nehmen Sie an, dass die Membran starr ist und Wärme weder aufnimmt noch durchlässt und die Eigenschaften in Abhängigkeit von der Temperatur nicht ändert. Die Behälterwände sind isoliert.

Die Luft kann als ein ideales Gas betrachtet werden.

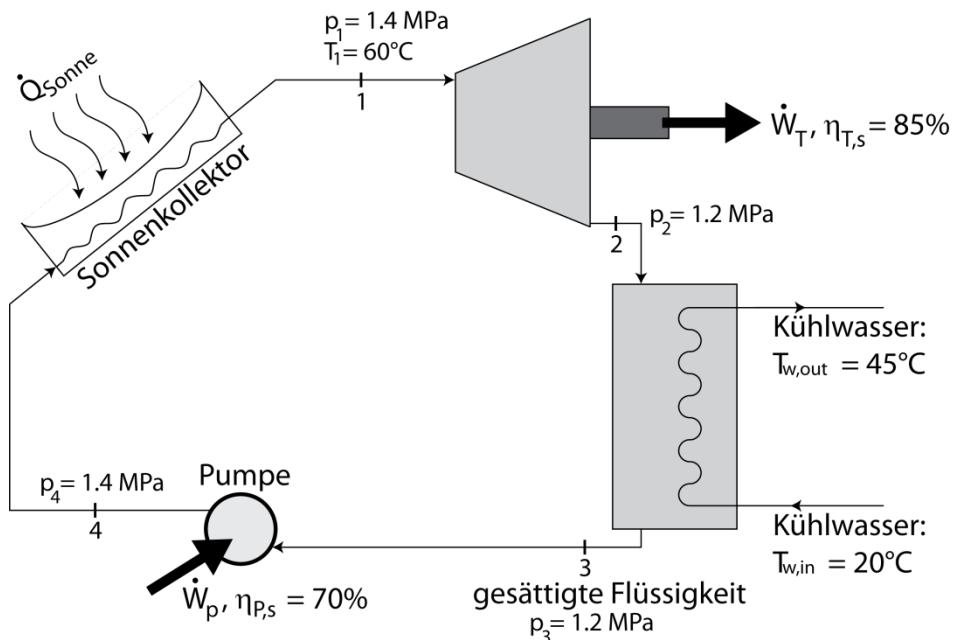
Aufgabe 2 – Solarkraftwerk (13 Punkte)

Abb. 2: Solarkraftwerk

Ein neues Solarkraftwerk soll gemäss Abbildung 2 dimensioniert werden um im stationären Zustand eine Nettoleistung (Gesamtkraftwerk) \dot{W}_{tot} von 10 MW zu liefern. Kühlmittel R-22 soll durch den Sonnenkollektor auf $p_1 = 1.4 \text{ MPa}$ und $T_1 = 60^\circ\text{C}$ erhitzt werden um durch eine gut isolierte Turbine mit $\eta_{T,s}$ (isenstropfer Wirkungsgrad) von 85% auf $p_2 = 1.2 \text{ MPa}$ zu expandieren. Anschliessend soll der R-22 – Strom durch einen Wärmetauscher isobar bis zur Sättigungstemperatur ($x=0$) abgekühlt werden und dabei einen $T_{w,in} = 20^\circ\text{C}$ kalten Wasserstrom auf $T_{w,out} = 45^\circ\text{C}$ erhitzen. Danach soll das *inkompressible*, flüssige R-22 über eine Pumpe mit $\eta_{p,s}$ (isenstropfer Wirkungsgrad) von 70% auf $p_4 = 1.4 \text{ MPa}$ gebracht werden (im Flüssigzustand), bevor es wieder via Sonnenkollektor auf den Anfangszustand verdampft wird.

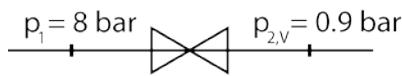
Das Kraftwerk arbeitet im stationären Zustand, alle Komponenten (Turbine, Pumpe, Wärmetauscher, Sonnenkollektor) sind gegen aussen gut isoliert, kinetische und potentielle Energieeffekte können vernachlässigt werden.

Bestimmen Sie:

- Die spezifischen Arbeiten $\frac{\dot{W}_T}{\dot{m}_{R22}}$ der Turbine, sowie $\frac{\dot{W}_p}{\dot{m}_{R22}}$, die der Pumpe zugeführt werden muss,
- Den Massenstrom \dot{m}_{R22} des Kühlmittels, sowie den Wärmefluss \dot{Q}_{Sonne} , der durch Sonnenstrahlen auf den Kühlmittelstrom übertragen wird,
- Den Wärmefluss $\dot{Q}_{\text{Wärmetauscher}}$, der an das Kühlwasser abgegeben wird, sowie den Kühlwassermassenstrom \dot{m}_w ,
- Den thermischen Wirkungsgrad des gesamten Kraftwerks. Wie könnte man diesen erhöhen, bei gleichbleibendem Kühlmittel sowie Komponenten?

Aufgabe 3 – Expansionsarbeit (9 Punkte)

Ventil:



Turbine:

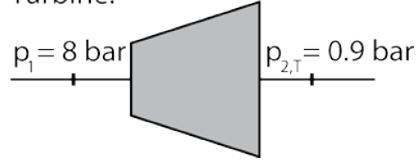


Abb. 3: Ventil und Turbine zwischen gleichen Druckniveaus

Flüssiges, gesättigtes Wasser ($x_1=0$) mit einem Massenstrom von 2 kg/min wird vom Anfangsdruck $p_1 = 8 \text{ bar}$ durch ein isoliertes Ventil auf $p_2 = 0.9 \text{ bar}$ entspannt.

- Zeichnen Sie den Expansionsprozess qualitativ in ein T-s Diagramm ein.
- Bestimmen Sie die Entropieproduktionsrate $\dot{S}_{erz,Ventil}$ dieses Expansionsprozesses in kW/K .

Für den Fall, dass das Ventil durch eine adiabate Turbine ersetzt würde:

- Zeichnen Sie auch diesen Prozess qualitativ in das gleiche T-s Diagramm wie in Teilaufgabe a) ein.
- Berechnen Sie die theoretisch maximal erreichbare Turbinenleistung \dot{W}_T bei gleichbleibenden Eintritts- und Austrittsbedingungen sowie gleichbleibendem Wassermassenstrom und ergänzen Sie das T-s Diagramm falls nötig.

In beiden Fällen können kinetische und potentielle Energieeffekte vernachlässigt werden, beide Prozesse sind stationär.

Aufgabe 4 – Kolben/Zylindersystem mit Ammoniak (8 Punkte)

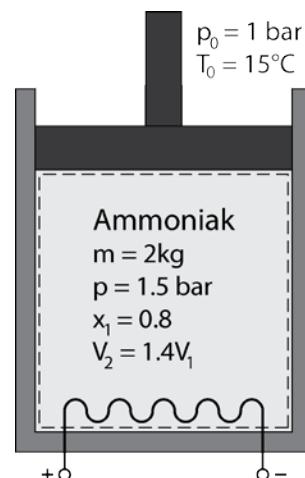
Ein isoliertes Kolben/Zylindersystem mit 2 kg Ammoniak bei 1.5 bar und einem Anfangsdampfgehalt von $x_1 = 80\%$ wird über einen Heizdraht erhitzt, bis sich das Volumen um 40% erhöht hat, bei gleichbleibendem Druck.

Umgebungsdaten: $T_o = 15^\circ\text{C}$, $p_o = 1 \text{ bar}$.

- Zeichnen Sie den Prozess qualitativ in ein p-v Diagramm ein.

Berechnen Sie:

- die elektrische Arbeit W_{el} , die vom Draht an das Ammoniak abgegeben wird,
- den Exergieverlust $Ex_{verl,12}$
- die Exergieänderung $Ex_2 - Ex_1$,



Potentielle und kinetische Energieeffekte können vernachlässigt werden. Die Masse des Drahtes kann vernachlässigt werden.