



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Departement Maschinenbau und Verfahrenstechnik

Institut für Energietechnik
Labor für Thermodynamik in neuen Technologien

Prof. D. Poulidakos

Thermodynamik I Sommersession 2010

Prüfung

27. August 2010
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 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		7		
2		8		
3		10		
4		10		
Total		35		

Aufgabe 1 – Gaskreisprozess (7 Punkte)

In einem Kolben/Zylinder System durchläuft ein Gas den folgenden dreistufigen Kreisprozess:

- 1-2: polytrope Verdichtung mit $n=1$ von $p_1 = 1 \text{ bar}$, $V_1 = 3.5 \text{ m}^3$ und $U_1 = 441 \text{ kJ}$ auf $p_2 = 2.08 \text{ bar}$ und $U_2 = 700 \text{ kJ}$,
- 2-3: isochore Abkühlung mit $Q_{23} = -180 \text{ kJ}$,
- 3-1: isobare Expansion auf den Anfangszustand.

- a) Skizzieren Sie den Prozess qualitativ im p-V Diagramm
- b) Berechnen Sie für jeden Teilprozess (Zustand 1 \rightarrow Zustand 2, 2 \rightarrow 3, 3 \rightarrow 1) die folgenden Größen: Arbeit W und Wärmeübertragung Q sowie die innere Energie U für jeden Zustand.
- c) Handelt es sich bei diesem Kreisprozess um eine Wärmekraftmaschine? Begründen Sie genau warum!
- d) Berechnen Sie den entsprechenden Wirkungsgrad/ die Leistungsziffer für den Prozess, basierend auf Ihrer Begründung in Teilaufgabe c).

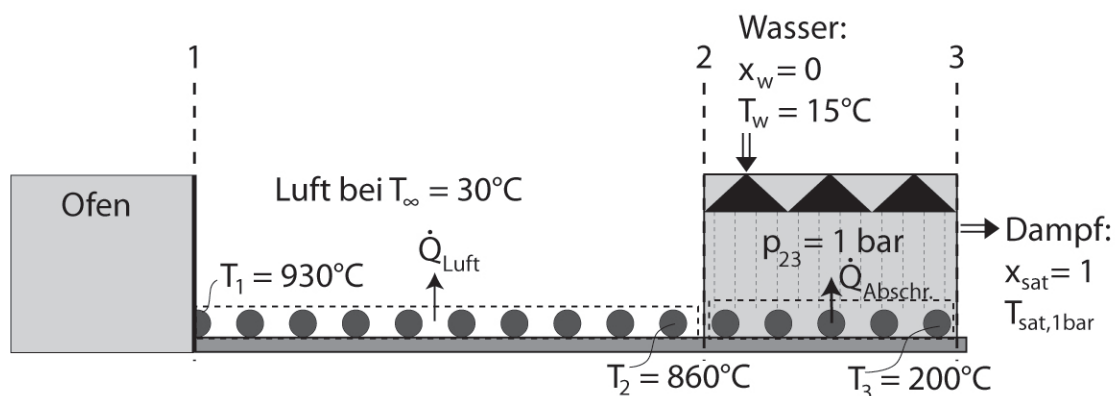
Aufgabe 2 – Härten von Kugeln (Wälzkörper für Kugellager) (8 Punkte)

Abb. 1: Transport von Wälzkörpern für Kugellager

In einem Härtenprozess werden 1200 Kugeln pro Minute zuerst zwischen dem Ofen und dem Abschrecken (1 \rightarrow 2) in 30°C warmer Luft auf einem Förderband transportiert (siehe Abb.1). Die Kugeln aus Edelstahl ($\rho = 8085 \text{ kg/m}^3$ und $c = 0.480 \text{ kJ/(kgK)}$) haben einen Durchmesser von $D = 1.1 \text{ cm}$ und verlassen den Ofen mit einer uniformen Temperatur $T_1 = 930^\circ\text{C}$. Für den Fall, dass die Kugeln vor dem Abschrecken auf $T_2 = 860^\circ\text{C}$ abkühlen, berechnen Sie:

- a) Den Anteil der Wärme \dot{Q}_{Luft} , der von den Kugeln an die Umgebungsluft abgegeben wird,
- b) Die Entropieerzeugungsrate $\dot{S}_{\text{erz, Luft}}$, die mit diesem Wärmeverlust einhergeht.

Nach dem Förderband ($2 \rightarrow 3$) werden die Kugeln auf $T_3 = 200^\circ\text{C}$ abgeschreckt (Abb. 1). Dabei wird flüssiges, gesättigtes Wasser, $T_w = 15^\circ\text{C}$ ($x_w=0$) auf die Kugeln gesprayt und als trockener, gesättigter Wasserdampf ($x_{\text{sat}}=1$) bei Sättigungstemperatur (T_{sat}) abtransportiert. Der Druck in der Kühlkammer sei konstant $p_{23} = 1 \text{ bar}$.

- c) Berechnen Sie die Wassermenge \dot{m}_w in kg/s, die benötigt wird um die Kugeln im kontinuierlichen Prozess von $T_2 = 860^\circ\text{C}$ auf $T_3 = 200^\circ\text{C}$ zu kühlen.

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

Der Prozess ist stationär und die kinetische Energie kann vernachlässigt werden.

Aufgabe 3 – Entropie einer Speisewasseraufbereitungsanlage (10 Punkte)

Um das Speisewasser einer Turbine zu erhitzen wird oft ein Teil des Wasserdampfes der Turbine entnommen und durch einen Wärmetauscher geleitet (siehe Abb. 2). Der Wasserdampf tritt mit einem Volumenstrom von $3 \text{ m}^3/\text{s}$ bei 1 MPa und 320°C in den perfekt adiabaten Wärmetauscher ein und verlässt ihn als gesättigte Flüssigkeit ($x_2=0$) beim gleichen Druck. Das Wasser wird isobar bei 5 MPa und 40°C in den Wärmetauscher eingespiesen und verlässt ihn mit 15°C kälterer Temperatur als die gesättigte Flüssigkeit bei Punkt 2.

Berechnen Sie:

- Den Wärmestrom, der vom Dampf auf das Wasser übertragen wird,
- Den Massenstrom des Wassers,
- Die gesamte Entropieerzeugung $\dot{S}_{\text{erz,tot}}$ des Wärmetauschers.

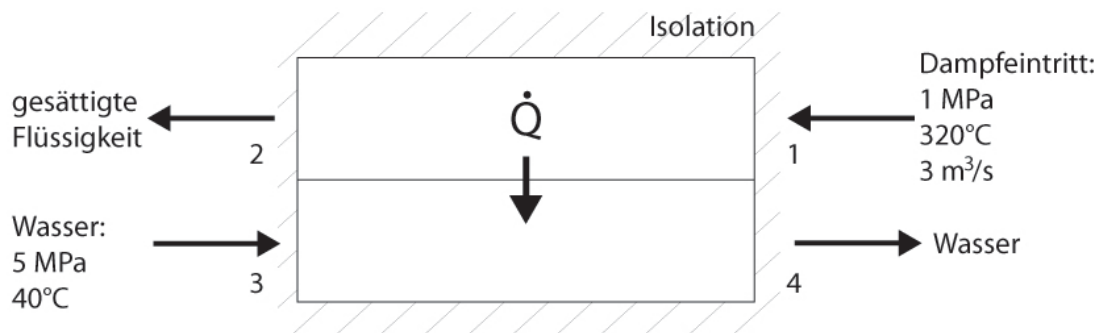


Abb. 2: Wärmetauscher zur Erwärmung von Speisewasser

Hinweise:

- Potentielle und kinetische Energien können vernachlässigt werden,
- der Prozess ist stationär,
- der Wärmetauscher ist adiabat,
- das Wasser kann als inkompressibel angenommen werden.

Aufgabe 4 – Exergie eines abwärmenutzenden Prozesses (10 Punkte)

Eine stationäre Wärmekraftmaschine gewinnt aus einem Wasserdampfprozess 7.5 kW Arbeit. Dabei tritt ein Dampfmassenstrom von 2.45 kg/min beim Punkt 1 mit 3 bar und 600°C in den Prozess ein und verlässt diesen bei Punkt 2 mit 1.5 bar.

Um die Leistung zu steigern wird der Wärmekraftmaschine zusätzlich Abwärme $\dot{Q}_{ab} = 5.3$ kW aus einem Hochtemperaturprozess über eine Maschinenwand bei 536°C zugeführt. Alle anderen Flächen seien isoliert.

Berechnen Sie für den stationären Zustand, bei $T_0 = 293$ K und $p_0 = 1$ atm:

- den Exergieanteil, der dem System mit der Abwärme zugeführt wird,
- den netto Exergiestrom, der vom Wasserdampfstrom ins System eingebracht wird,
- den Exergieverlust des Systems,
- den exergetischen Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschine

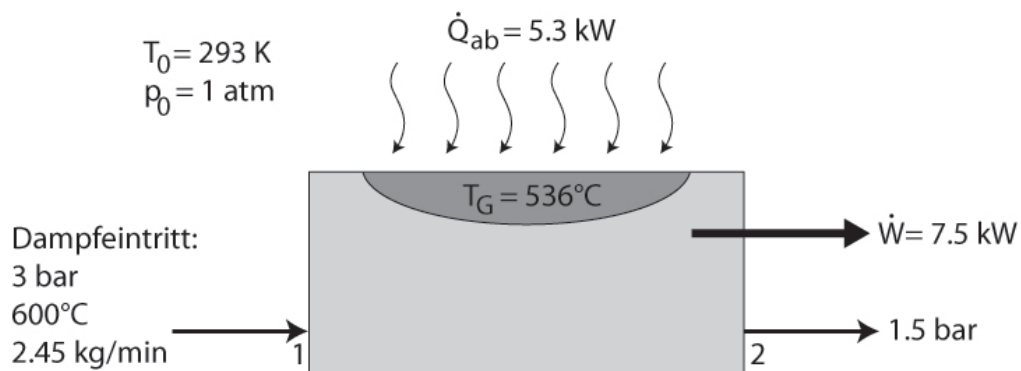


Abb. 3: dampfbetriebene Wärmekraftmaschine mit Abwärmenutzung