

Klausur zur Vorlesung

Thermodynamik 2

Für alle Aufgaben gilt: Der Rechen- und Gedankengang muss erkennbar sein!

Interpolationsvorschriften und Stützstellen sind anzugeben.

Hilfsmittel sind zugelassen. Verwenden Sie, sofern benötigt, die Gröberdiagramme aus dem Skript. Die Bearbeitungszeit beträgt 90 Minuten.

Falls Ersatzergebnisse angegeben sind, müssen diese auf jeden Fall verwendet werden.

Aufgabe 1: Konvektion an einem Rohr

10 von 50 Punkten

Ein horizontal verlaufendes Rohr aus Acrylglass mit der Länge $l = 0,5\text{ m}$ wird innen von flüssigem Wasser mit einer Temperatur von 85°C und mit einer Geschwindigkeit von $c = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ durchströmt. Außen befindet sich ruhende Umgebungsluft mit einer Temperatur von 40°C .

Die Strömung im Inneren des Rohrs kann als eingelaufen betrachtet werden. Der konvektive Wärmeübergangswiderstand auf der Innenseite sei vernachlässigbar klein

Der Innenradius des Rohrs ist $r_i = 5\text{ cm}$. Die Wandstärke des Rohrs ist $1,5\text{ mm}$.

Gehen Sie zur Ermittlung der Stoffwerte von einer Wandinnentemperatur von 85°C und einer Wandaußentemperatur von 80°C aus.

- a) Bestimmen Sie den Wärmeübergangskoeffizienten an der Außenwand des Rohrs.
- b) Bestimmen Sie den kA -Wert des gesamten Rohrs.
- c) Prüfen Sie den Schätzwert für die Wandaußentemperatur nach.

Aufgabe 2: Kraftwerk

18 von 50 Punkten

In einem Kraftwerk läuft ein Clausius-Rankine-Prozess mit Zwischenüberhitzung ab.

Die höchste im Prozess auftretende Temperatur liegt bei 550°C ; sie wird vor Eintritt in die Hochdruckturbine und erneut nach der Zwischenüberhitzung, also vor dem Eintritt in die Niederdruckturbine erreicht.

Das untere Druckniveau des Arbeitsmediums Wasser liegt bei $p_u = 0,1\text{ bar}$. Der höchste Druck liegt bei $p_o = 150\text{ bar}$. Die Niederdruckturbine hat einen Isentropenwirkungsgrad von $\eta_{S,T} = 0,91$. Nach Verlassen der Hochdruckturbine befindet sich das Arbeitsmedium im Zustand des gesättigten Dampfes bei einem Druck von 8 bar.

Die Wärmeabfuhr erfolgt in einem Wärmeübertrager, der mit Flusswasser gekühlt wird. Nach Durchlaufen des Wärmeübertragers liegt das Arbeitsfluid als um 3 K unterkühlte Flüssigkeit vor. Alle Wärmeübertrager sind frei von Druckverlusten.

Die Speisewasserpumpe nimmt eine Leistung von $\dot{W}_t = 10\text{ MW}$ auf und arbeitet reibungsfrei.

- Zeichen Sie den Prozess in einem T-S-Diagramm ein und tragen Sie alle bekannten Größen ein.
- Welchen Isentropenwirkungsgrad $\eta_{s,T}$ hat die Hochdruckturbine?
- Wie groß ist der im Prozess umlaufende Massenstrom?

Gehen Sie ab hier von einem Ersatzergebnis für den Massenstrom von $\dot{m} = 650 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ aus.

- Wie groß ist der während der Zwischenüberhitzung zugeführte Wärmestrom?
- In welchem Zustand (Druck, Temperatur, ggf. Dampfanteil x) befindet sich das Arbeitsmedium nach dem Verlassen der Niederdruckturbine?

Nun soll der Teil des Wärmeübertragers betrachtet werden, in dem die Kondensation des Arbeitsmediums stattfindet. Dafür stehen $17,25 \frac{\text{t}}{\text{s}}$ Flusswasser bei 15°C zur Verfügung. (Andere Teile des Wärmeübertragers, in denen das Arbeitsfluid ggf. abgekühlt wird, sollen explizit nicht betrachtet werden. Für diese Teile steht anderes, zusätzliches Kühlwasser zur Verfügung.)

- Welche Temperatur hat das Kühlwasser nach dem Verlassen des Wärmeübertragers?
- Bestimmen Sie die dimensionslose Temperaturänderung ε für die Kühlwasserseite und den kA -Wert des Wärmeübertragers?

Enthalpie Wasserdampf (in kJ/kg) in Abhängigkeit von Temperatur und Druck

	$0,1\text{ bar}$	8 bar	150 bar
50°C	2592	-	-
60°C	2611	-	-
500°C	3489	3479	3311
550°C	3597	3588	3450

Entropie Wasserdampf (in kJ/kgK) in Abhängigkeit von Temperatur und Druck

	$0,1\text{ bar}$	8 bar	150 bar
50°C	8,174	-	-
60°C	8,233	-	-
500°C	9,899	7,764	6,348
550°C	10,034	7,901	6,523

Aufgabe 3: *Gemischte Fragen*

12 von 50 Punkten

Es gibt für jeden Aufgabenteil maximal 1,5 Punkte.

- a) Warum sollte bei einer Wärmeübertragung von flüssigem Wasser auf Luft in einem Lamellenrohrbündelwärmeübertrager das Wasser durch die Rohre strömen und nicht die Luft? (Diese strömt zwischen den Lamellen hindurch.)
- b) Ein Körper, der bei gegebener Temperatur die maximale Strahlung abgibt, wird schwarzer Körper genannt. Warum wird er so genannt? Er strahlt ja besonders intensiv (hell) und nicht besonders wenig.
- c) Warum kann ein Mensch in der Wüste bei höheren Temperaturen als in den Tropen dauerhaft genug Wärme an seine Umgebung abgeben, um zu überleben?
- d) Wie unterscheiden sich der Otto- und der Stirling-Prozess in Bezug auf den verwendbaren Brennstoff?
- e) Warum wird in Kühlschränken und Klimaanlagen meist ein Kaltdampfprozess und kein (linkslaufender) Jouleprozess genutzt. In welchen Anwendungsfällen ist ein linkslaufender Jouleprozess besser geeignet?
- f) Der Sichtfaktor von einem Körper A mit einer Oberfläche von 10 cm^2 auf einen Körper B beträgt 0,2. Der Sichtfaktor von Körper B auf Körper A beträgt 0,1. Welche Oberfläche hat Körper B?
- g) Nennen Sie 3 Einflussgrößen, von denen es abhängt, ob an einer beheizten Oberfläche, die sich in einer Flüssigkeit befindet, Blasensieden stattfindet oder nur stilles Sieden.
- h) In einem Raum hat die Luft eine Temperatur von 20°C und eine relative Feuchte von $\varphi = 60$ Prozent. Wie groß ist die Wasserbeladung x ?

Aufgabe 4: *Instationäre Erwärmung einer Platte*

10 von 50 Punkten

Eine flach auf dem Boden liegende Gussstahlplatte sei $l = 15 \text{ cm}$ dick und habe zum Zeitpunkt t_0 überall die einheitliche Temperatur $T_0 = 20^\circ\text{C}$. Auf die Platte wird eine heiße Flüssigkeit gegossen, die der Oberfläche eine Temperatur von 400°C aufprägt. Die Rückseite der Platte sei isoliert und verhalte sich annähernd adiabat. Die Breite und Länge der Platte sei sehr viel größer als Ihre Dicke.

Folgende Werte sind bekannt: $\lambda_{\text{Stahl}} = 20 \frac{\text{W}}{\text{K m}}$ $c_{p,\text{Stahl}} = 0,47 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ $\rho_{\text{Stahl}} = 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ $\lambda_{\text{Flüssigkeit}} = 0,556 \frac{\text{W}}{\text{K m}}$ $\rho_{\text{Luft}} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

- a) Wie lange dauert es, bis sich ein Punkt, der sich $0,5 \text{ cm}$ unter der schlagartig erwärmten Plattenoberfläche befindet, auf eine Temperatur von $20,8^\circ\text{C}$ erwärmt hat?
- b) Welche Temperatur hat ein Punkt auf der (isolierten) Plattenrückseite nach 1 Stunde und 10 Minuten?