

## Thermodynamik 1

Klausur

02. August 2010

Bearbeitungszeit: 120 Minuten

Umfang der Aufgabenstellung: 6 nummerierte Seiten

Alle Unterlagen zu Vorlesung und Übung sowie Lehrbücher und Taschenrechner sind als Hilfsmittel zugelassen.

Geben Sie diese Aufgabenstellung bitte zusammen mit Ihren Lösungsblättern ab. Füllen Sie die Angaben zu Ihrer Person aus und versehen Sie jedes Lösungsblatt mit Ihrem Namen.

Name: \_\_\_\_\_

Vorname: \_\_\_\_\_

Matrikelnummer: \_\_\_\_\_

**Unterschrift:** \_\_\_\_\_

### Angaben zur Korrektur

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punkte	Korrektor
1	14		
2	20		
3	16		
Zwischensumme			
Bonuspunkte			
Summe			
Bewertung			

### Aufgabe 1 (14 Punkte)

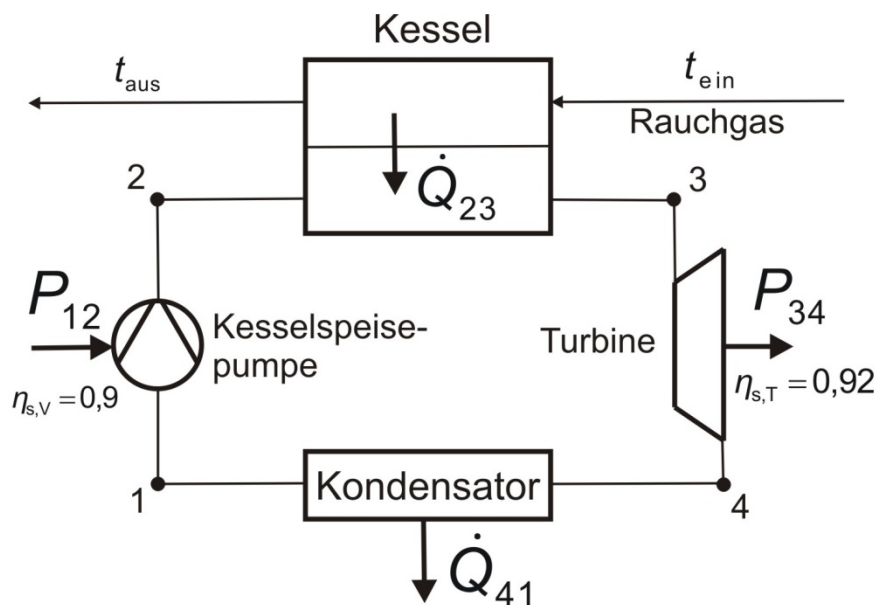
Ein ideales Gas ( $M = 28,2 \text{ kg/kmol}$ ,  $c_p = 1,0369 \text{ kJ/(kgK)}$ ) mit dem Volumen  $V_1 = 0,35 \text{ m}^3$ , dem Druck  $p_1 = 3,5 \text{ bar}$  und der Temperatur  $T_1 = 140 \text{ °C}$  wird irreversibel adiabat auf das Volumen  $V_2 = 0,85 \text{ m}^3$  expandiert. Dabei verringert sich die innere Energie des idealen Gases. Würde die Expansion auf dasselbe Volumen  $V_2 = 0,85 \text{ m}^3$  reversibel adiabat bis zum Umgebungsdruck  $p_a = 1,013 \text{ bar}$  und zur Umgebungstemperatur  $T_a$  verlaufen, wäre die Änderung der inneren Energie doppelt so groß. Allgemeine Gaskonstante  $R_m = 8,314472 \text{ J/(molK)}$ .

Berechnen Sie

- a) die Umgebungstemperatur  $T_a$ , (4 P)
- b) die Änderung der inneren Energie bei der irreversibel adiabaten Expansion  $1 \rightarrow 2$ , (3 P)
- c) die Temperatur und den Druck nach der irreversibel adiabaten Expansion, (3 P)
- d) den Polytropenexponenten  $n$ , wenn die Zustandsänderung bei der irreversibel adiabaten Expansion vereinfacht als Polytrope angenommen werden kann. (2 P)
- e) Skizzieren Sie die beiden Zustandsänderungen in einem  $p, V$ -Diagramm (2 P)

## Aufgabe 2 (20 Punkte):

Ein Dampfkraftwerk mit einstufiger Entspannung ist folgendermaßen realisiert:



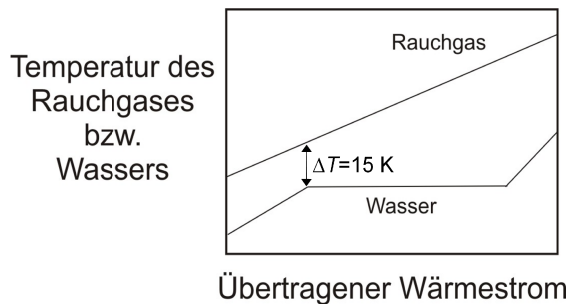
Die Zustandsänderungen, die das Arbeitsmedium Wasser dabei durchläuft, sind:

- 1 à 2 irreversibel adiabate Druckerhöhung ( $\eta_{s,V} = 0,9$ ) vom Zustand 1 ( $t_1 = 40^\circ\text{C}$ ,  $p_1 = 0,0738$  bar) auf den Druck  $p_2 = 35$  bar und die Temperatur  $t_2$  (die Kesselspeisepumpe verrichtet dabei eine technische Arbeit von  $w_{t,12} = 4,38$  kJ/kg),
- 2 à 3 isobare Erwärmung des Massenstroms  $\dot{m} = 300$  kg/s auf  $t_3 = 615^\circ\text{C}$ ,
- 3 à 4 irreversible Expansion ( $\eta_{s,T} = 0,92$ ) in der Turbine auf  $p_4 = 0,0738$  bar und  $t_4$ ,
- 4 à 1 isobare Kondensation bei der Temperatur  $t_1$ .

- a) Stellen Sie den Prozess qualitativ in einem  $T,s$ -Diagramm dar. (4 P)
- b) Berechnen Sie den Dampfgehalt des Nassdampfs am Turbinenaustritt und geben Sie die dazugehörige Temperatur  $t_4$  an. (3 P)

Die zugeführte Wärme im Kessel wird durch einen Rauchgasstrom aus einer Kohlebefeuerung bereitgestellt. Dieser Rauchgasstrom soll auf eine Temperatur von  $t_{\text{aus}} = 80^\circ\text{C}$  abgekühlt werden. Beachten Sie, dass die Temperatur des Rauchgases an jeder Stelle mindestens  $15^\circ\text{C}$  oberhalb der Temperatur des Wassers liegen soll.

Qualitativ ist der Temperaturverlauf im Kessel wie folgt:



- c) Wie viel Wärme muss in dem Kessel an das Wasser übertragen werden, bei welcher Eintrittstemperatur  $t_{\text{ein}}$  muss diese bereitgestellt werden und wie hoch ist der dazugehörige Rauchgasmassenstrom? (6 P)
- d) Berechnen Sie die Nutzleistung der Gesamtanlage. (2 P)
- e) Berechnen Sie den exergetischen Wirkungsgrad dieses Prozesses bezogen auf die Exergieänderung des Rauchgases. Die Umgebungstemperatur beträgt  $25^\circ\text{C}$ . (3 P)
- f) Wie groß ist die gesamte bereitgestellte Exergie des Rauchgases? Welcher Anteil davon ist die Nutzleistung des Kraftwerks? (2 P)

**Stoffdaten für Wasser:**

Zweiphasengebiet

$p / \text{bar}$	$t_s / ^\circ\text{C}$	$h' / \text{kJ/kg}$	$h'' / \text{kJ/kg}$	$s' / \text{kJ}/(\text{kg K})$	$s'' / \text{kJ}/(\text{kg K})$
0,0563	35,00	146,64	2564,58	0,5052	8,3518
0,0738	40,00	167,54	2573,54	0,5724	8,2557
0,0959	45,00	188,44	2582,45	0,6386	8,1634
0,1235	50,00	209,34	2591,31	0,7038	8,0749
35,0000	242,56	1049,78	2802,74	2,7254	6,1245

' siedende Flüssigkeit    '' gesättigter Dampf

Homogenes Fluid

$p / \text{bar}$	$t / ^\circ\text{C}$	$h / \text{kJ/kg}$	$s / \text{kJ}/(\text{kg K})$
35	40	170,63	0,5711
35	41	174,80	0,5844
35	42	178,97	0,5976
35	43	183,14	0,6108
35	44	187,32	0,6240
35	45	191,49	0,6371
35	46	195,66	0,6502
35	47	199,83	0,6633
35	615	3713,16	7,4745

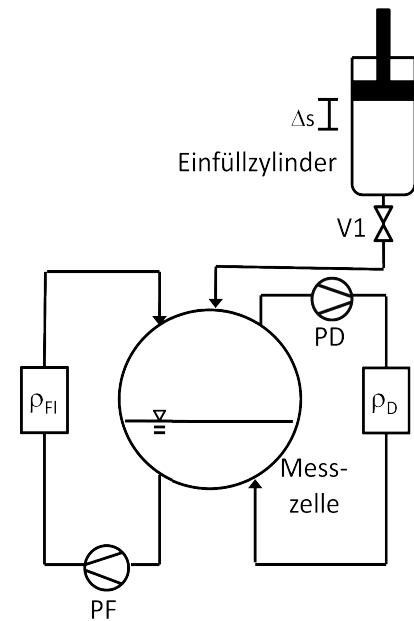
Isobare Wärmekapazität:  $c_{p, \text{Rauchgas}} = 1,16 \text{ kJ/kgK}$

Die isobare Wärmekapazität kann im betrachteten Temperaturbereich als konstant angesehen werden.

### Aufgabe 3 (16 Punkte):

Eine Versuchsanlage zur Messung von Dampf-Flüssigkeits-Phasengleichgewichten ist zu Beginn komplett evakuiert. Der Versuchsstoff Aceton befindet sich im Einfüllzylinder bei Umgebungstemperatur  $T_u$  und Umgebungsdruck  $p_u$  im flüssigen Zustand.

Wird das Ventil V1 geöffnet, läuft das Aceton in die temperierbare, starre Messzelle ein und liegt dort im zweiphasigen Zustand vor. Nun kann der Dampfdruck bei einer bestimmten Siedetemperatur gemessen werden. Zusätzlich ist es möglich, die Dichte der Flüssigphase und der Dampfphase zu bestimmen.



Hierzu werden beide Phasen jeweils mit der Pumpe PD bzw. PF durch je ein Dichtemessgerät ( $\rho_D$  bzw.  $\rho_{Fl}$ ) gefördert.

- Um einen sicheren Betrieb der Flüssigkeitspumpe zu gewährleisten, soll der minimale Volumenanteil der Flüssigkeit in der Messzelle 10% betragen. Die Phasengleichgewichts-Messungen sollen in einem Temperaturbereich  $T_u < T < 180^\circ\text{C}$  durchgeführt werden. Welche Masse von Aceton muss in die Messzelle eingefüllt werden um dies zu gewährleisten? (3 P)
- Um welche Strecke  $\Delta s$  wird der Kolben am Einfüllzylinder hierfür verschoben? (2 P)
- Für den Einfüllvorgang wird die Messzelle auf  $T_u$  temperiert. Wie groß ist der Massenanteil und der Volumenanteil, der nach dem Befüllen flüssig vorliegt? (3 P)
- Ausgehend von  $T_u$  wird die Temperatur in der Messzelle nun schrittweise auf  $180^\circ\text{C}$  erhöht. Skizzieren Sie in einem  $p$ - $\rho$ -Diagramm den Verlauf der Dichte, die von den beiden Dichtemessgeräten hierbei jeweils gemessen wird. (2 P)
- Welche Stoffmenge  $\Delta m$  Aceton muss zusätzlich noch in die Messzelle eingefüllt werden, wenn bei einer Temperierung auf  $T_c$  gerade der kritische Zustand erreicht werden soll? (1 P)
- Dafür wird zusätzlich  $\Delta m$  Aceton bei  $T_u$  eingefüllt. Wieviel Wärme muss zugeführt werden, um den kritischen Zustand zu erreichen? (5 P)

## Stoffdaten für Aceton:

### Zweiphasiger Zustand

$T$ (°C)	$p$ (bar)	$\rho'$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho''$ (kg/m <sup>3</sup> )	$h'$ (kJ/kg)	$h''$ (kJ/kg)
20,00	0,247	790,190	0,601	-78,623	460,600
60,00	1,157	744,280	2,570	8,784	505,850
100,00	3,723	693,840	7,867	101,390	550,110
140,00	9,341	635,640	19,784	200,920	590,730
180,00	19,809	562,850	45,549	310,370	621,710
220,00	37,574	449,930	114,250	439,950	621,950
234,95	46,924	272,970	272,970	544,340	544,340

### Einphasiger Zustand

$T$ (°C)	$p$ (bar)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$h$ (kJ/kg)
20	1	790,270	-78,567
20	2	790,370	-78,492
20	10	791,150	-77,895
180	1	1,562	703,430
180	2	3,165	700,280
180	10	17,934	671,890

### Weitere Angaben:

Umgebungstemperatur:  $T_u = 20 \text{ °C}$

Umgebungsdruck:  $p_u = 1 \text{ bar}$

Durchmesser des Einfüllzylinders:  $d = 10 \text{ cm}$

Volumen der Messzelle:  $V = 1,2 \text{ Liter}$

Das Volumen der Leitungen kann vernachlässigt werden.

Das Volumen der Messzelle hängt nicht von der Temperatur ab.