

## Thermodynamik 1

Klausur

03. März 2010

Bearbeitungszeit: 120 Minuten

Umfang der Aufgabenstellung: 5 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: \_\_\_\_\_

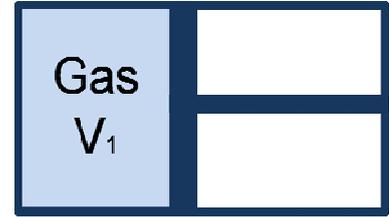
**Unterschrift:** \_\_\_\_\_

### Angaben zur Korrektur

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punkte	Korrektor
1	16		
2	19		
3	15		
Zwischensumme			
Bonuspunkte			
Summe			
Bewertung			

## Aufgabe 1 (16 Punkte)

Ein Zylinder mit einem reibungsfrei beweglichem Kolben (Durchmesser  $d = 40 \text{ cm}$ ) ist mit einer noch unbekanntem Menge an Gas gefüllt. Um welche Art von Gas es sich handelt, ist ebenfalls noch nicht bekannt. Das Gas wird ausgehend von Zustand 1 ( $V_1 = 0,1885 \text{ m}^3$  und Umgebungsbedingungen  $t_1 = t_u$  und  $p_1 = p_u$ ) reversibel adiabat bis zu einer Temperatur  $t_2 = 150 \text{ °C}$  verdichtet. Bei der Verdichtung verschiebt sich der Kolben um  $90 \text{ cm}$ . Anschließend wird das Gas reversibel isobar auf die Temperatur  $t_3 = 100 \text{ °C}$  gebracht. Um erneut den Ausgangszustand 1 zu erreichen, wird das Gas ausgehend vom Zustand 3 zunächst isochor gekühlt, bis der Druck  $p_4 = p_1$  erreicht ist. Abschließend wird das Gas reversibel isobar in den Ausgangszustand 1 gebracht.



Gegeben sind die folgenden Daten:

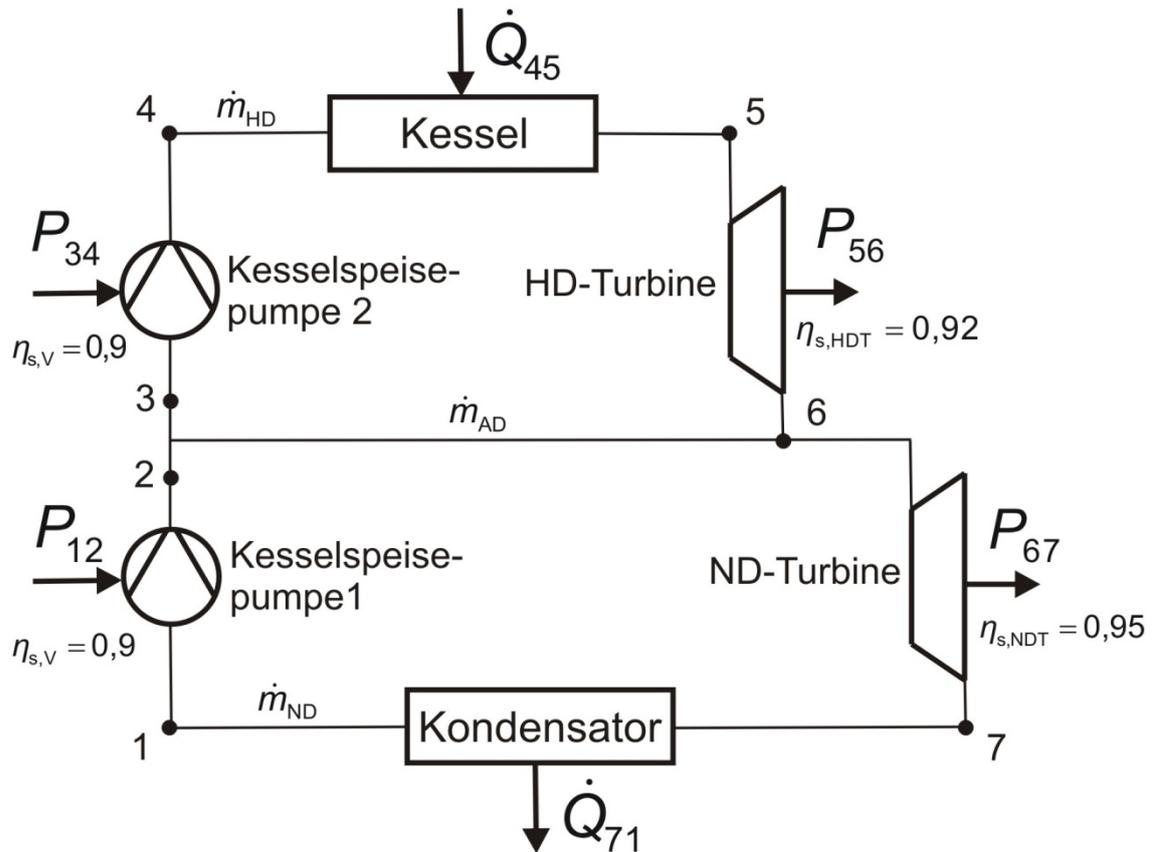
- Universelle Gaskonstante:  $R_m = 8,314472 \text{ J/(mol K)}$
- $c_p = 0,9085 \text{ kJ/(kg K)}$
- $t_u = 20 \text{ °C}$
- $p_u = 1,013 \text{ bar}$
- Das Gas kann als ideales Gas betrachtet werden.

Gas	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	CO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
$M \text{ (g/mol)}$	2,016	16,043	28,013	30,070	31,999	39,948	44,010	46,010

- Zeichnen Sie den Prozess qualitativ in ein  $p, v$ -Diagramm ein. (4 P)
- Berechnen Sie den Adiabatenexponenten  $\kappa$  des eingeschlossenen Gases. (4 P)
- Welches Gas befindet sich in dem Zylinder und wie groß ist seine Masse? (2 P)
- Bestimmen Sie die Temperatur  $t_4$ . (2 P)
- Berechnen Sie die bei den Zustandsänderungen  $1 \rightarrow 2$ ,  $2 \rightarrow 3$  und  $3 \rightarrow 4$  ausgetauschten Volumenänderungsarbeiten und Wärmen. (4 P)

## Aufgabe 2 (19 Punkte):

Ein Dampfkraftwerk mit zweistufiger Entspannung ist folgendermaßen realisiert:



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

- 1 → 2 irreversibel adiabate Druckerhöhung ( $\eta_{s,V} = 0,9$ ) vom Zustand 1 ( $t_1 = 32,88^\circ\text{C}$ ,  $p_1 = 0,05$  bar) auf den Druck  $p_2 = 1,3$  bar und die Temperatur  $t_2 = 32,90^\circ\text{C}$ ,
- 2 → 3 isobare Erwärmung auf  $t_3 = 107,11^\circ\text{C}$  sowie eine Massenstromerhöhung von  $\dot{m}_{\text{ND}}$  durch Massenstromentnahme  $\dot{m}_{\text{AD}}$  nach der Hochdruck-Turbine (HDT) bei Zustand 6 auf  $\dot{m}_{\text{HD}}$ ,
- 3 → 4 irreversibel adiabate Druckerhöhung ( $\eta_{s,V} = 0,9$ ) vom Zustand 3 ( $p_3 = 1,3$  bar) auf den Druck  $p_4 = 44$  bar,
- 4 → 5 isobare Erwärmung, Verdampfung und Überhitzung des Wassers auf  $t_5 = 650^\circ\text{C}$ ,
- 5 → 6 irreversible Expansion ( $\eta_{s,HDT} = 0,92$ ) in der Turbine auf  $p_6 = 1,3$  bar,
- 6 → 3 Massenstromentnahme  $\dot{m}_{\text{AD}}$  und Vermischung mit  $\dot{m}_{\text{ND}}$ ,
- 6 → 7 irreversible Expansion des Teilmassenstroms  $\dot{m}_{\text{ND}}$  ( $\eta_{s,NDT} = 0,95$ ) in der Turbine auf  $p_7 = 0,05$  bar,
- 7 → 1 isobare Kondensation.

- a) Stellen Sie den Prozess qualitativ in einem  $T,s$ -Diagramm dar. (4 P)
- b) Berechnen Sie die Temperatur  $t_4$ . (2 P)
- c) Welcher Massenstrom  $\dot{m}_{HD}$  ist für die Wärmezufuhr von  $\dot{Q}_{45} = 2000$  MW erforderlich? (1 P)
- d) Stellen Sie die Enthalpiebilanz für die Vermischung des Massenstroms  $\dot{m}_{AD}$  mit dem Niederdruckmassenstrom  $\dot{m}_{ND}$  auf und bestimmen Sie  $\dot{m}_{ND} / \dot{m}_{HD}$ . (4 P)
- e) Berechnen Sie die Nutzleistung der Gesamtanlage. (5 P)
- f) Berechnen Sie den thermischen und den exergetischen Gesamtwirkungsgrad des Prozesses. (3 P)

Stoffdaten von Wasser:

Die Umgebungstemperatur beträgt  $t_u = 20^\circ\text{C}$ .

### Zweiphasengebiet

$p$ / bar	$t_s$ / °C	$h'$ / kJ/kg	$h''$ / kJ/kg	$s'$ / kJ/(kg K)	$s''$ / kJ/(kg K)
0,05	32,88	137,8	2560,8	0,4763	8,3939
1,3	107,11	449,1	2686,7	1,3867	7,2708
44,0	256,07	1115,4	2798,7	2,8488	6,0294

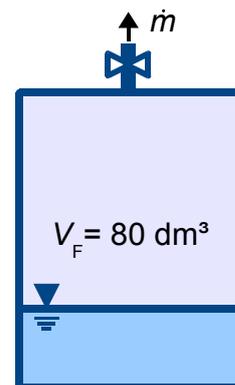
' siedende Flüssigkeit    '' gesättigter Dampf

### Homogenes Fluid

$p$ / bar	$t$ / °C	$h$ / kJ/kg	$s$ / kJ/(kg K)
44,0	107,00	451,8	1,3819
44,0	107,43	453,6	1,3867
44,0		454,1	1,3880
44,0	108,00	456,0	1,3930
44,0	109,00	460,2	1,4041
44,0	640,00	3764,2	7,4273
44,0	650,00	3787,4	7,4526
44,0	660,00	3810,7	7,4776
1,3	32,88	137,9	0,4762
1,3	32,90	138,0	0,4765
1,3	34,00	142,6	0,4915
1,3	35,00	146,8	0,5051
1,3	110,00	2692,7	7,2867
1,3	130,00	2734,0	7,3916
1,3	150,00	2774,4	7,4895
1,3	170,00	2814,4	7,5819
1,3		2841,4	7,6414
1,3	190,00	2854,2	7,6698

### Aufgabe 3 (15 Punkte):

In einem zylinderförmigen CO<sub>2</sub>-Fass für eine Bier-Zapfanlage mit dem Volumen  $V_F = 80 \text{ dm}^3$  liegt anfangs Vakuum vor. Das Fass wird aus einen großen Vorratstank mit dem Volumen  $V_T = 1 \text{ m}^3$  befüllt. Das CO<sub>2</sub> im Tank hat vor dem Befüllvorgang Umgebungstemperatur  $t_{T,1} = t_u = 20 \text{ °C}$  und einen Druck von  $p_{T,1} = 100 \text{ bar}$ . In dem Fass liegt das CO<sub>2</sub> eine Weile nach dem Umfüllen zweiphasig bei einer Temperatur  $t_{F,2} = t_u$  vor.



- a) Wie groß ist der Dampfgehalt des CO<sub>2</sub> im Fass wenn der Druck im Tank durch das isotherme Umfüllen auf  $p_{T,2} = 73,74 \text{ bar}$  sinkt? (3 P)

Ein Gastwirt holt das befüllte CO<sub>2</sub>-Fass ab, vergisst es jedoch in seinem Lieferwagen. Durch die Sonneneinstrahlung erwärmt sich das CO<sub>2</sub> auf  $t_3 = 28 \text{ °C}$ .

- b) Wie viel Wärme  $Q_{23}$  nimmt das CO<sub>2</sub> im Fass hierbei auf? (4 P)
- c) Auf welcher Höhe  $z_3$  über dem Fassboden befindet sich dann der Flüssigkeitsspiegel? Das Fass hat einen Innendurchmesser von 40 cm. (3 P)

Das Fass wird nun an eine Zapfanlage angeschlossen und im Schankraum herrscht eine Temperatur von  $t_s = 22 \text{ °C}$ . Es wird CO<sub>2</sub> mit einem Massenstrom  $\dot{m} = 0,2645 \text{ kg/h}$  isotherm entnommen.

- d) Nach welcher Zeit ist das Fass nur noch mit gesättigtem Gas gefüllt? (3 P)
- e) Skizzieren Sie qualitativ die Zustandsänderungen 2 bis 4 für das CO<sub>2</sub> im Fass in einem  $p, v$ -Diagramm. (2 P)

Stoffdaten für CO<sub>2</sub>:

Nassdampfgebiet

Einphasiges Gebiet

$t$ (°C)	$p$ (bar)	$\rho'$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$\rho''$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$u'$ (kJ/kg)	$u''$ (kJ/kg)	$h'$ (kJ/kg)	$h''$ (kJ/kg)	$T$ (°C)	$p$ (bar)	$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$u$ (kJ/kg)
18	54.65	0.7938	0.17957	242.4	381.3	249.3	411.8	20	70.00	0.80860	241.29
20	57.29	0.7734	0.19420	248.5	378.4	255.9	407.9	20	73.74	0.81631	239.67
22	60.03	0.7508	0.21108	254.9	374.8	262.9	403.3	20	75.00	0.81874	239.16
24	62.88	0.7250	0.23110	261.9	370.5	270.6	397.7	20	80.00	0.82771	237.25
26	65.84	0.6945	0.25586	269.8	365.0	279.3	390.7	20	90.00	0.84317	233.91
28	68.92	0.6553	0.28911	279.1	357.4	289.6	381.2	20	100.00	0.85631	231.02
30	72.14	0.5933	0.34510	292.4	344.2	304.6	365.1	20	110.00	0.86781	228.46

Kritische Daten:  $t_c = 30,978 \text{ °C}$ ,  $p_c = 73,773 \text{ bar}$ ,  $\rho_c = 0,4676 \text{ kg/dm}^3$

Anmerkung: Beide Behälter sind als starr anzusehen, d.h. ihr Volumen ist konstant.