

Thermodynamik 1

Klausur

08. September 2016

Bearbeitungszeit: 150 Minuten

Umfang der Aufgabenstellung: 7 nummerierte Seiten

Alle Unterlagen zur 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: _____

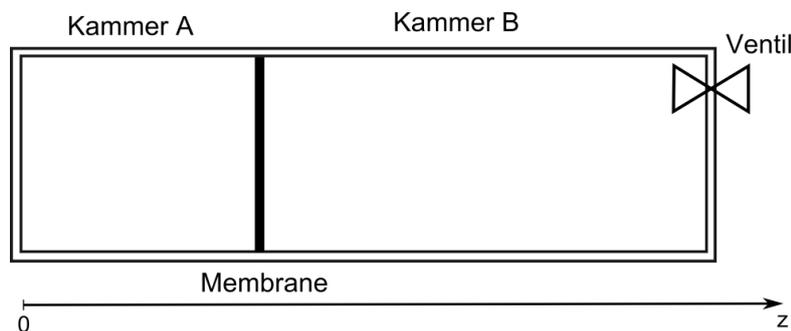
Unterschrift: _____

Angaben zur Korrektur

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punkte	Korrektor
1	26		
2	28		
3	26		
Zwischensumme			
Bonuspunkte			
Summe			
Bewertung			

Aufgabe 1 (26 Punkte)

Zur Erkundung der Venusatmosphäre soll eine Sonde mit einem Zweikammermesssystem eingesetzt werden. Die Kammer A wird auf der Erde mit Atmosphärenluft bei $p = 1 \text{ bar}$ und $t = 20^\circ\text{C}$ befüllt. Das System ist so konstruiert, dass die Wandung stets als ideal adiabat betrachtet werden kann. Eine Membrane, welche beide Kammern trennt, kann für Energie durchlässig gemacht werden, ist aber für Materie stets undurchlässig. Die Membrane kann zusätzlich an beliebigen Positionen entlang der z -Achse arretiert werden. Die Kammer B ist zunächst evakuiert und dient der thermodynamischen Untersuchung unbekannter Gasproben.



Sowohl die Luft in Kammer A als auch die unbekannte Gasprobe in Kammer B können stets als ideale Gase betrachtet werden. Beide Kammern bilden nach dem Befüllen und dem Schließen des Ventils separate geschlossene Systeme.

Nach der Landung auf der Venus wird das Ventil geöffnet und bleibt zunächst offen.

Die Kammer B füllt sich nun mit der unbekannt Gasprobe. Nach dem Lösen der Arretierung der Membrane verringert sich das Volumen der Kammer A auf 4% des ursprünglichen Volumens. Die Membrane sei zunächst für Wärme undurchlässig.

a) Bestimmen Sie den Druck in Kammer A. (4 P)

Die Membrane wird nun für Wärme durchlässig gemacht und das Volumen der Kammer A verringert sich um weitere 31%.

b) Berechnen Sie die Temperatur in Kammer A. (3 P)

c) Stellen die in a) und b) berechneten Größen auch die Temperatur und den Druck der Venusatmosphäre dar? Begründen Sie. (2 P)

Das Ventil wird nun geschlossen.

Das Gesamtvolumen beider Kammern beträgt 1 dm^3 .

- d) Berechnen Sie die Stoffmenge in den Kammern A und B, sowie die Masse der Luft in Kammer A, wenn das Volumen der Kammer A vor der Probennahme $0,5 \text{ dm}^3$ betrug und die Membrane kein Eigenvolumen hat. (4 P)

Dem gesamten System werden nun von außen 45 J an Wärme zugeführt. Die Arretierung der Membrane ist gelöst und die Membrane ist für Wärme durchlässig.

- e) Welche Temperatur und welcher Druck stellen sich in den Kammern A und B ein, wenn für die molare isochore Wärmekapazität des Gases in Kammer B $c_{v,m} = 49,9 \text{ J}/(\text{mol K})$ angenommen werden kann. (10 P)
- f) Geben Sie die jeweiligen Freiheitsgrade (Translation, Rotation, Vibration) der unbekanntes Gasprobe in B an. Wie könnte die Molekülgeometrie demnach aussehen, unter der Annahme, dass alle Freiheitsgrade vollständig angeregt sind? (3 P)

Universelle Gaskonstante: $R_m = 8,3145 \text{ J}/(\text{mol K})$

Stoffdaten der Atmosphärenluft in Kammer A:

$$\kappa = 1,4 \quad ; \quad c_v = 0,8 \text{ J}/(\text{g K}) \quad ; \quad M = 28,95 \text{ g/mol}$$

Aufgabe 2 (28 Punkte)

In einem Dampfkraftwerk durchläuft das Arbeitsmedium Wasser folgende Zustandsänderungen:

- 1 → 2: reversibel adiabate Druckerhöhung, am Punkt 2 liegt eine Enthalpie von $h_2 = 167,45 \text{ kJ/kg}$ vor
- 2 → 3: isobare unterkritische Wärmezufuhr bis zur Temperatur $T_3 = 823,15 \text{ K}$
- 3 → 4: irreversibel adiabate Entspannung auf das mittlere Druckniveau von $p_4 = 4 \text{ bar}$, nach der realen Entspannung liegt der Dampf um 20 K überhitzt vor, nach einer reversibel adiabaten Entspannung würde ein Dampfgehalt von 92% vorliegen
- 4 → 5: isobare Wärmezufuhr auf eine Temperatur $T_5 = 773,15 \text{ K}$
- 5 → 6: irreversibel adiabate Entspannung auf das untere Druckniveau von $p_6 = 0,06 \text{ bar}$, bei 20 K Überhitzung
- 6 → 1: isobare Wärmeabfuhr bis nur noch siedende Flüssigkeit vorliegt

Beide Turbinen gemeinsam liefern eine Leistung von 120 MW .

Die Umgebungstemperatur beträgt 25°C .

- a) Zeichnen Sie das Anlagenschema des Dampfturbinenprozesses mit allen zu- und abgeführten Wärmeströmen und Leistungen. (3 P)
- b) Stellen Sie den Prozess qualitativ in einem T, s -Diagramm dar. Kennzeichnen Sie im Diagramm den kritischen Punkt, sowie die Siede- und Taulinie. (5 P)
- c) Auf welchem Druck muss die Kesselspeisepumpe das Wasser fördern? (4 P)

Wenn Sie Aufgabenteil c) nicht lösen konnten, rechnen Sie mit einem oberen Druckniveau von $14,5 \text{ MPa}$ weiter.

- d) Berechnen Sie den isentropen Wirkungsgrad für beide Turbinen.
Warum steigt die Entropie bei der Entspannung? (6 P)
- e) Bestimmen Sie den Massenstrom Wasser im Dampfturbinenprozess, sowie die beiden aufzubringenden Wärmeströme. (4 P)
- f) Berechnen Sie den thermischen und exergetischen Wirkungsgrad des Dampfturbinenprozesses.
Warum ist der exergetische Wirkungsgrad bei rechtsläufigen Kreisprozessen immer größer als der thermische? (6 P)

Stoffdaten Wasser:

Zweiphasiger Zustand:

T	p	h'	h''	s'	s''
K	MPa	kJ / kg	kJ / kg	kJ / (kg K)	kJ / (kg K)
309,31	0,006	151,48	2566,6	0,52082	8,3290
416,76	0,4	604,65	2738,1	1,7765	6,8955
523,5	4	1087,5	2800,8	2,7968	6,0696
584,15	10	1408,1	2725,5	3,3606	5,6160
615,31	15	1610,2	2610,7	3,6846	5,3106
638,9	20	1827,2	2412,3	4,0156	4,9314
647,10	22,064	2146,6	2146,6	4,5033	4,5033

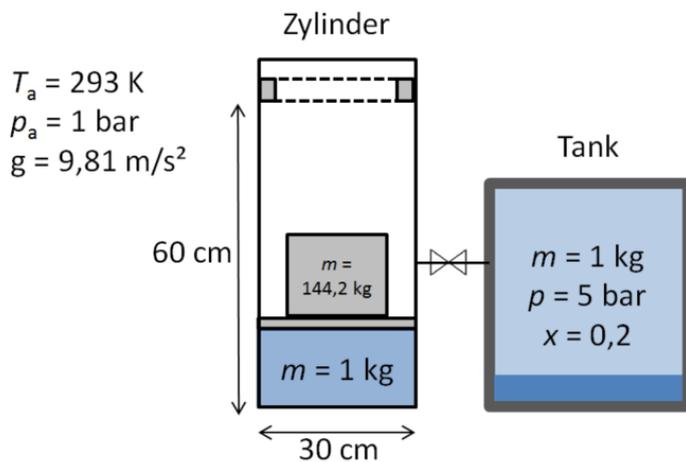
Gasförmiger Zustand:

T	p	h	s
K	MPa	kJ / kg	kJ / (kg K)
823,15	5	3550,9	7,1237
823,15	6	3541,3	7,0307
823,15	7	3531,6	6,9506
823,15	8	3521,8	6,8799
823,15	9	3512,0	6,8164
823,15	10	3502,0	6,7585
823,15	11	3491,9	6,7050
823,15	12	3481,7	6,6553
823,15	13	3471,3	6,6087
823,15	14	3460,9	6,5648
823,15	15	3450,4	6,5230
823,15	16	3439,8	6,4832
823,15	17	3429,0	6,4451
329,31	0,006	2604,8	8,4486
436,76	0,4	2783,1	7,0012
773,15	0,4	3485,5	8,1933

Aufgabe 3 (26 Punkte)

Im dargestellten Zylinder befindet sich 1 kg Wasser im thermischen Gleichgewicht mit der Umgebung ($T_a = 293 \text{ K}$, $p_a = 1 \text{ bar}$). Auf dem Kolben liegt eine Masse von 144,2 kg. Der Kolben ist bis zu den Anschlägen im oberen Teil des Zylinders frei beweglich. Die Masse und Höhe des Kolbens können vernachlässigt werden. Die Abmessungen des Zylinders sind der Skizze zu entnehmen.

Der Zylinder ist über ein zunächst geschlossenes Ventil mit einem Tank verbunden. Dieser Tank enthält ebenfalls 1 kg Wasser, welches bei 5 bar im zweiphasigen Zustand vorliegt.



- a) Welcher Druck herrscht im Zylinder? In welchem Zustand liegt das Wasser darin vor und welches Volumen füllt es aus? (3 P)

Der Druck im Zylinder soll durch Wärmezufuhr auf 3 bar erhöht werden.

- b) Welche Zustandsänderungen treten dabei auf? Zeichnen Sie diese qualitativ in ein p, v -Diagramm ein. Wieviel Wärme muss dem Wasser im Zylinder zugeführt werden? (12 P)
Die Wärmefaufnahme durch Zylinder und Kolben ist zu vernachlässigen.
- c) Bestimmen Sie das Volumen des Tanks. (2 P)

Nun wird das Ventil zwischen Zylinder und Tank geöffnet.

- d) Welcher neue Zustand (Dichte, Druck, Temperatur) stellt sich ein?
Gehen Sie von einer nach außen hin adiabaten Zustandsänderung aus. (9 P)
(Hinweis: Die innere Energie U und Enthalpie H sind extensive Zustandsgrößen, es gilt Massen- und Energieerhaltung.)

Stoffdaten Wasser:

Kritischer Punkt: $T_c = 647,1 \text{ K}$; $p_c = 22,064 \text{ MPa}$; $\rho_c = 322,0 \text{ kg/m}^3$

Flüssiges Wasser bei 293 K ist als inkompressibel zu betrachten mit:

$\rho = 998,25 \text{ kg/m}^3$; $u = 83,27 \text{ kJ/kg}$; $h = 83,47 \text{ kJ/kg}$

Nassdampf-Gebiet:

T	p	ρ'	ρ''	u'	u''	h'	h''
K	MPa	kg / m ³	kg / m ³	kJ / kg	kJ / kg	kJ / kg	kJ / kg
293,00	0,0023	998,19	0,0172	83,284	2402,1	83,286	2537,2
333,21	0,02	983,13	0,1308	251,40	2456,0	251,42	2608,9
349,01	0,04	974,30	0,2504	317,58	2476,3	317,62	2636,1
359,08	0,06	967,99	0,3661	359,84	2489,0	359,91	2652,9
366,64	0,08	962,93	0,4791	391,63	2498,2	391,71	2665,2
372,76	0,10	958,63	0,5903	417,40	2505,6	417,50	2674,9
377,93	0,12	954,86	0,7001	439,23	2511,7	439,36	2683,1
382,44	0,14	951,49	0,8087	458,27	2516,9	458,42	2690,0
386,45	0,16	948,41	0,9163	475,21	2521,4	475,38	2696,0
390,06	0,18	945,57	1,0230	490,51	2525,5	490,70	2701,4
393,36	0,20	942,94	1,1291	504,49	2529,1	504,70	2706,2
406,67	0,30	931,82	1,6508	561,10	2543,2	561,43	2724,9
416,76	0,40	922,89	2,1627	604,22	2553,1	604,65	2738,1
424,98	0,50	915,29	2,6680	639,54	2560,7	640,09	2748,1
431,98	0,60	908,59	3,1687	669,72	2566,8	670,38	2756,1
438,10	0,70	902,56	3,6660	696,23	2571,8	697,00	2762,8
443,56	0,80	897,04	4,1608	719,97	2576,0	720,86	2768,3
448,50	0,90	891,92	4,6536	741,55	2579,6	742,56	2773,0
453,03	1,00	887,13	5,1450	761,39	2582,7	762,52	2777,1
485,53	2,00	849,80	10,042	906,14	2599,1	908,50	2798,3
507,00	3,00	821,90	15,001	1004,7	2603,2	1008,3	2803,2
523,50	4,00	798,37	20,090	1082,5	2601,7	1087,5	2800,8
537,09	5,00	777,37	25,351	1148,2	2597,0	1154,6	2794,2