

## Thermodynamik 2

Klausur

24. Februar 2014

Bearbeitungszeit: 120 Minuten

Umfang der Aufgabenstellung: 4 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	19		
2	17		
3	14		
Zwischensumme			
Bonuspunkte		-----	
Summe			
Bewertung			

### Aufgabe 1 ( 19 Punkte)

In einem Wohngebiet wird die Abwärme eines ortsansässigen Industriebetriebes als Wärmequelle für Haushaltswärmepumpen genutzt. Die Abwärme wird über eine Verteilstation in ein ungedämmtes und damit preiswertes Kaltwasser-Nahwärme-Rohrnetz geleitet und mit  $t_{W,1} = 20^\circ\text{C}$  Vorlauftemperatur den Haushalten zur Verfügung gestellt. Eine solche Haushaltswärmepumpe nutzt die Wärme des Industriebetriebes zur Verdampfung des Arbeitsmittels R32 bei  $p_1 = 0,8624 \text{ MPa}$ . Vor dem Verdichter mit dem Wirkungsgrad  $\eta_{sv} = 0,83$  wird das Arbeitsmittel isobar um 3 K überhitzt. Die anschließende isobare Kondensation des Arbeitsmittels bis zum Zustand der gesättigten Flüssigkeit findet bei einem Druck von  $p_3 = 2,9194 \text{ MPa}$  statt, dabei werden 7,25 kW Heizwärme zur Verfügung gestellt. Anschließend wird das Arbeitsmittel isenthalp auf den Verdampfendruck gebracht.

- a) Berechnen Sie die spezifische technische Arbeit  $w_{t,12}$ , die dem Verdichter zugeführt werden muss. (3 P)
- b) Wie groß ist der Massenstrom  $\dot{m}_{AM}$  des Arbeitsmittels R32? (1,5 P)
- c) Bestimmen Sie den Dampfgehalt  $x_4$  und die Leistungszahl der Wärmepumpe  $\varepsilon_{WP}$ . (2,5 P)
- d) Wie hoch ist die Rücklauftemperatur des Wassers  $T_{W,2}$  in den Industriebetrieb wenn der Massenstrom  $\dot{m}_W = 0,1 \text{ kg/s}$  beträgt? (1 P)
- e) Welcher Exergieverlust tritt im Verdampfer der Wärmepumpe auf? (4 P)
- f) Skizzieren Sie den Prozess in einem  $\log(p)$ - $h$ - und einem  $T$ - $s$ -Diagramm. (4 P)
- g) Warum ist es besser die Abwärme des Industriebetriebs als Wärmequelle zu nutzen, anstatt beispielsweise die Außenluft? (3 P)

Umgebungstemperatur:  $t_U = 15^\circ\text{C}$

**Stoffdaten:**  $c_{p,Wasser} = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg K})$

Zweiphasiger Zustand von R32:

$T$	$p$	$h'$	$h''$	$s'$	$s''$
K	MPa	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$
275	0.8624	203.2408	515.6256	1.0117	2.1476
280	1.0069	212.0919	516.3415	1.0430	2.1297
285	1.1690	221.0899	516.7957	1.0743	2.1119
290	1.3501	230.2532	516.9590	1.1056	2.0942
295	1.5516	239.6036	516.7972	1.1368	2.0765
300	1.7749	249.1674	516.2686	1.1682	2.0586
305	2.0216	258.9778	515.3218	1.1998	2.0403
310	2.2934	269.0768	513.8918	1.2317	2.0214
315	2.5920	279.5196	511.8938	1.2640	2.0017
320	2.9194	290.3816	509.2135	1.2970	1.9809
325	3.2775	301.7705	505.6887	1.3310	1.9585
330	3.6686	313.8492	501.0755	1.3664	1.9338

Einphasiger Zustand von R32:

$T$	$p$	$h$	$s$
K	MPa	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$
275	0.8624	515.6256	2.1476
276	0.8624	516.8876	2.1522
277	0.8624	518.1332	2.1567
278	0.8624	519.3637	2.1611
279	0.8624	520.5801	2.1655
280	0.8624	521.7834	2.1698
356	2.9194	568.3068	2.1567
358	2.9194	571.0026	2.1642
360	2.9194	573.6711	2.1716
362	2.9194	576.3145	2.1790
364	2.9194	578.9347	2.1862
366	2.9194	581.5336	2.1933
368	2.9194	584.1128	2.2003

## Aufgabe 2 ( 17 Punkte):

Nach dem Bad oder nach der Dusche herrschen im Badezimmer oft tropische Bedingungen (Zustand 1:  $t_1 = 30^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_1 = 0,9$ ). Einige Zeit nach der Dusche wird die Luft in dem Badezimmer isobar auf den Zustand 2 mit  $t_2 = 20^\circ\text{C}$  und  $x_2 = 14,72 \text{ g Wasser/kg}$  trockener Luft abgekühlt. Es bildet sich Kondensat, das an den Fenstern zum Boden abfließt. Durch diese Zustandsänderung (1→2) wird der Luft der Wärmestrom  $\dot{Q}_{\text{ab}} = 50 \text{ W}$  entzogen und durch die Fenster nach außen abgeführt.

- Wie groß ist der Wassergehalt im Zustand 1? Bei welcher Temperatur der Fensterscheiben würden diese beginnen zu beschlagen? (3 P)
- Welcher Massenstrom trockener Luft  $\dot{m}_L$  wird bis zum Zustand 2 abgekühlt? Welcher Kondensatmassenstrom  $\dot{m}_{W,\text{ab}}$  fließt die Fenster hinunter? (5 P)

Zustand 2 könnte auch durch Fensteröffnen erreicht werden. Wird das Fenster geöffnet, kommt die kalte Umgebungsluft mit  $t_3 = 9^\circ\text{C}$  und  $\varphi_3 = 60 \%$  (Zustand 3) in den Raum und vermischt sich mit dem feuchten Luft von Zustand 1.

- Skizzieren Sie die Zustandspunkte 1 bis 3 in einem selbst gezeichneten  $h_{1+x,x}$ -Diagramm. (3 P)
- Welche Masse trockener Luft befindet sich im Badezimmer (Zustand 1)? (2 P)
- Welcher Anteil der Luft von Zustand 1 muss gegen Frischluft von Zustand 3 ausgetauscht werden, um Zustand 2 zu erreichen? (4 P)

### Hinweise:

Alle Zustandsänderungen der feuchten Luft werden bei  $p = 0,101325 \text{ MPa}$  durchgeführt. Feuchte Luft ist als Mischung idealer Gase zu behandeln. Das Luftvolumen des Badezimmers beträgt  $V = 15 \text{ m}^3$ .

### Stoffdaten:

Spezifische isobare Wärmekapazität:

$$c_{p,\text{Luft}} = 1,007 \text{ kJ}/(\text{kg K}), \quad c_{p,\text{Wasserdampf}} = 1,86 \text{ kJ}/(\text{kg K}), \quad c_{p,\text{Wasser}} = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

Verdampfungsenthalpie des Wassers bei  $0^\circ\text{C}$ :  $\Delta h_v = 2500 \text{ kJ/kg}$

Molmassen: Luft:  $28,96 \text{ g/mol}$ , Wasser:  $18,015 \text{ g/mol}$

Universelle Gaskonstante:  $R_m = 8,314472 \text{ J}/(\text{mol K})$

Dampfdruckkurve von Wasserdampf über Wasser:

$$\ln(p) = 18,8314 - 3964,8072/(t+232,8977) \quad t \text{ in } ^\circ\text{C}, p \text{ in mbar}$$

### Aufgabe 3 ( 14 Punkte)

Ein Mensch nimmt mit der Nahrung unter anderem Kohlenhydrate in Form von Traubenzucker (Glucose,  $C_6H_{12}O_6$ ) auf. Die Glucose wird beim Verdauungsvorgang mit dem in der Atemluft enthaltenen Sauerstoff zu Wasser und Kohlenstoffdioxid oxidiert. Dabei wird Energie frei, die dann dem Körper zur Verfügung steht.

- a) Wieviel Energie wird bei der Umsetzung von einem Mol Glucose im Standardzustand frei (Standardreaktionsenthalpie)? (3 P)
- b) Wie groß ist die Reaktionsenthalpie, wenn die Edukte bei  $21^\circ C$  aufgenommen und die Produkte dieser Reaktion bei  $36^\circ C$  ausgeschieden werden? (3 P)  
(Der in der Atemluft enthaltene Stickstoff ist hierbei zu vernachlässigen.)
- c) Wieviel Gramm Glucose muss ein Mensch zu sich nehmen, um seinen täglichen Energiebedarf von 2500 kcal zu decken? (1 kcal = 4,187 kJ) (2 P)

Ein Erwachsener nimmt pro Atemzug 0,5 Liter Luft auf, wobei die eingeatmete Luft 21% Sauerstoff und die ausgeatmete Luft noch 16 % Sauerstoff enthält. Die Luft ist als ideales Gas zu betrachten und liegt bei  $21^\circ C$  und 1 bar vor.

- d) Wie viele Atemzüge pro Minute sind notwendig, um die in c) errechnete Menge an Glucose um zu setzten? (6 P)

#### Stoffdaten:

Stoff	$M$ [g/mol]	$\Delta^B h_\Theta$ [kJ/mol]	$c_p$ [J/(molK)]
$C_6H_{12}O_6$	180.16	-1268.0	219.00
$O_2$	32.00	0	31.75
$H_2O$ (Flüssig)	18.02	-285.83	75.5
$CO_2$	44.01	-393.51	45.85

Universelle Gaskonstante:  $R_m = 8,314472 \text{ J}/(\text{mol K})$