

**Rationelle Energienutzung**  
Klausur  
12. September 2014  
**Teil 1**

Gesamte Bearbeitungszeit: **120 Minuten**

Bearbeitungszeit Teil 1: **30 Minuten**

Gesamtumfang der Aufgabenstellung: **8** nummerierte Seiten

Umfang Teil 1: **2** nummerierte Seiten

Für den Teil 1 der Klausur („Fragenteil“) sind keine Hilfsmittel erlaubt. In Teil 2 dürfen alle Unterlagen zu Vorlesung und Übung sowie Lehrbücher und Taschenrechner genutzt werden. Die Aufgaben 1 bis 3 bearbeiten Sie bitte auf separaten Papierbögen (werden ausgeteilt). 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	15		
2	22		
3	13		
	Summe		
	Bewertung		

## Aufgabe 1 (15 P)

- a.) Nennen Sie fünf regenerative Energieträger. (1P)
- b.) Was ist ein Windatlas? Wofür wird dieser benötigt? (1P)
- c.) Wodurch unterscheiden sich KWK-Anlagen mit einem Freiheitsgrad von solchen mit zwei Freiheitsgraden? (2P)
- d.) Warum spricht man bei Wärmepumpen von Leistungszahlen und nicht von Wirkungsgraden? Zeigen Sie, wie die Leistungszahlen von Kühltisch und Wärmepumpe ineinander umgerechnet werden können. (2P)
- e.) Warum lassen sich mit Brennstoffzellen im Teillastbereich bessere Wirkungsgrade erzielen als im Vollastbereich? (2P)
- f.) Warum werden für mechanische Antriebe (z.B. für Bewässerungspumpen) meist vielblättrige Windräder verwendet? (1P)
- g.) Welche Optionen bestehen grundsätzlich, wenn man bei der Stromerzeugung CO<sub>2</sub> zurückhalten will? Nennen sie zu jeder dieser Optionen ein Verfahren. (2P)
- h.) Welche Bedingungen gelten für das Verhältnis von Ein- und Austrittstemperaturen bei Wärmeübertragern mit Gleich- und Gegenstromführung? Skizzieren Sie den Temperaturverlauf über die Lauflänge in beiden Fällen. (2P)
- i.) Skizzieren Sie das Prinzip der Fotovoltaik und beschreiben Sie dieses. (2P)

**Rationelle Energienutzung**  
Klausur  
12. September 2014  
**Teil 2**

---

Gesamte Bearbeitungszeit: **120 Minuten**

Bearbeitungszeit Teil 2: **90 Minuten**

Umfang der Aufgabenstellung Teil 2: **6** nummerierte Seiten

Für den Teil 1 der Klausur („Fragenteil“) sind keine Hilfsmittel erlaubt. In Teil 2 dürfen alle Unterlagen zu Vorlesung und Übung sowie Lehrbücher und Taschenrechner genutzt werden. Die Aufgaben 1 bis 3 bearbeiten Sie bitte auf separaten Papierbögen (werden ausgeteilt). 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:

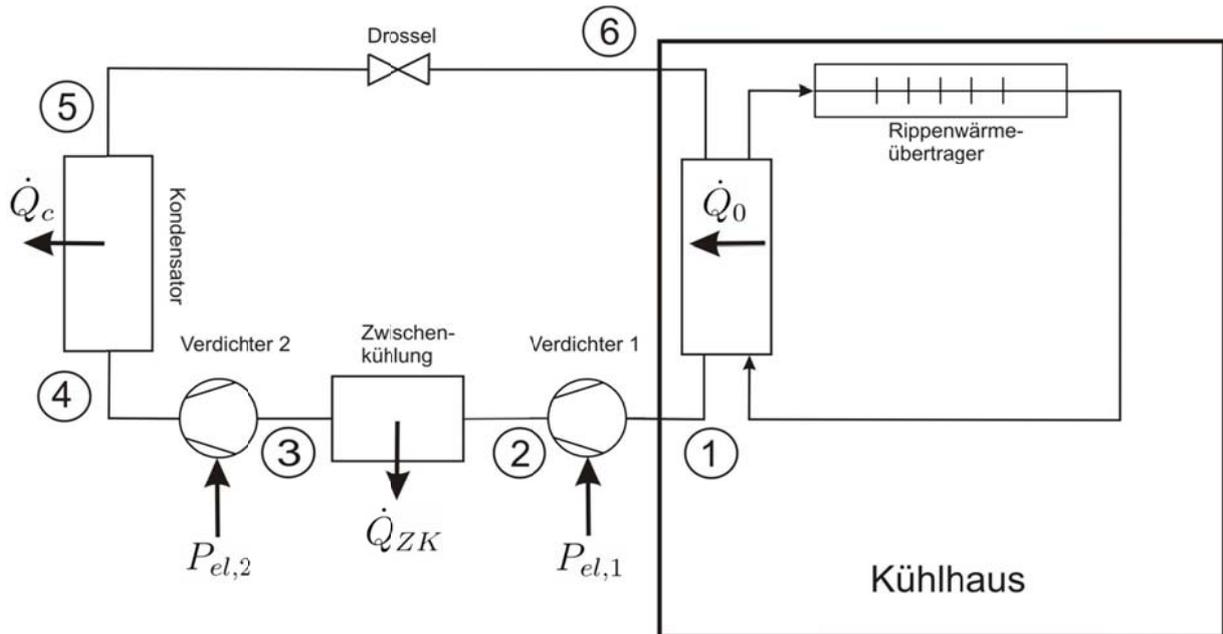
\_\_\_\_\_

**Unterschrift:**

\_\_\_\_\_

## Aufgabe 2 (22 P)

Die Temperatur im Kühlhaus eines Tiefkühlpizzaherstellers soll konstant bei  $-18^{\circ}\text{C}$  gehalten werden. Um die benötigte Kälteleistung bereit zu stellen wird eine zweistufige Kompressionskältemaschine eingesetzt, welche mit Ammoniak als Prozessmedium betrieben wird. Im Kühlhaus wird der abzuführende Wärmestrom von einem Rippenwärmeübertrager aufgenommen und dann durch einen mit Ethanol betriebenen Kühlmedienkreislauf an den Verdampfer der Kompressionskältemaschine abgegeben.



- 1  $\rightarrow$  2: irreversibel adiabate Verdichtung vom Zustand 1 (Wirkungsgrad des Verdichters 1:  $\eta_{s,v} = 0,85$ ).
- 2  $\rightarrow$  3: isobare Wärmeabfuhr ohne Kondensation bis zur Temperatur  $T_3 = 25^{\circ}\text{C}$ . Dabei wird der Wärmestrom  $\dot{Q}_{ZK}$  vom Kältemittel an das Wasser eines Flusses abgegeben.
- 3  $\rightarrow$  4: irreversibel adiabate Verdichtung vom Zustand 3 auf den Druck  $p_4 = 10,032 \text{ bar}$  (Wirkungsgrad des Verdichters 2:  $\eta_{s,v} = 0,85$ ).
- 4  $\rightarrow$  5: isobare Wärmeabfuhr in einem Kondensator bis zur Siedelinie (keine Unterkühlung). Dabei wird der Wärmestrom  $\dot{Q}_c$  vom Kältemittel ebenfalls an das Wasser eines Flusses abgegeben.
- 5  $\rightarrow$  6: adiabate Drosselung auf den Druck  $p_6 = 1,515 \text{ bar}$ .
- 6  $\rightarrow$  1: vollständige, isobare Verdampfung des Prozessmediums mit Überhitzung ( $\Delta T_{\dot{U}} = 1 \text{ K}$ ) durch Aufnahme des Wärmestroms  $\dot{Q}_0$  aus dem Ethanol-Kühlmedienkreislauf.

Verwenden Sie zur Lösung der Aufgaben die in Tabelle 1 und 2 angegebenen Stoffdaten für das Prozessmedium Ammoniak.

- a) Stellen Sie den Prozess der Kältemaschine qualitativ im T-s Diagramm dar. (5P)
- b) Wie groß ist der im Verdampfer aufgenommene Wärmestrom  $\dot{Q}_0$  wenn der Massenstrom des Ammoniaks  $\dot{m}_{\text{NH}_3} = 0,2028 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$  beträgt? (2P)
- c) Bestimmen Sie die elektrischen Leistungen der Verdichter sowie die Leistungszahl der Kältemaschine  $\epsilon_{\text{KM}}$ . (4P)
- d) Wie groß ist der Exergieverluststrom  $\Delta\dot{E}_{\text{V,C}}$  im Kondensator? (4P)
- e) Stellen Sie die Exergieverluste bei der Verdichtung in einem neuen T-s Diagramm qualitativ dar. Was ist der Vorteil der zweistufigen Verdichtung mit zwischengeschalteter Wärmeabfuhr gegenüber einer einstufigen Verdichtung? (3P)

**Hinweise:**

- Für das Druckverhältnis der beiden Verdichter gilt:  $\Pi = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_4}{p_3} = 2,573$
- Die Umgebungstemperatur  $T_a$  und die Temperatur des Flusses  $T_f$  betragen  $18^\circ\text{C}$

Die Wände des Kühlhauses bestehen aus Polyurethan-Paneelen mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0,03 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$ . Die Wandfläche beträgt  $44700 \text{ m}^2$  und die Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha_{\text{Außen}} = 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$  sowie  $\alpha_{\text{Innen}} = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$ .

- f) Berechnen Sie die nötige Dicke der Polyurethan-Paneele für den oben berechneten Leistungsfall. (4P)

**Hinweise:**

- Die Einflüsse durch Wärmestrahlung können vernachlässigt werden

Tabelle 1: Stoffdaten von Ammoniak im Zweiphasengebiet

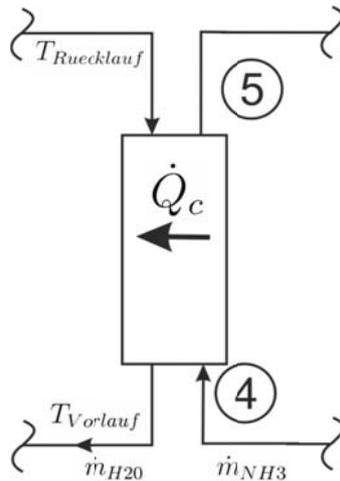
<b><i>T</i></b>	<b><i>p</i></b>	<b><i>h'</i></b>	<b><i>h''</i></b>	<b><i>s'</i></b>	<b><i>s''</i></b>
<b>°C</b>	<b>bar</b>	<b>kJ/kg</b>	<b>kJ/kg</b>	<b>kJ/(kg K)</b>	<b>kJ/(kg K)</b>
-27	1,3792	220,2	1570,9	0,9994	6,4868
-26	1,4457	224,7	1572,4	1,0176	6,4705
-25	1,5150	229,2	1573,8	1,0357	6,4543
-24	1,5864	233,7	1575,2	1,0537	6,4383
-23	1,6608	238,2	1576,7	1,0717	6,4224
-22	1,7379	242,7	1578,1	1,0896	6,4067
-21	1,8179	247,2	1579,5	1,1075	6,3911
-20	1,9008	251,7	1580,8	1,1253	6,3757
17	7,7817	422,7	1621,1	1,7521	5,8824
18	8,0395	427,4	1621,9	1,7682	5,8707
19	8,3038	432,2	1622,6	1,7844	5,8590
20	8,5748	436,9	1623,3	1,8005	5,8475
21	8,8524	441,7	1624,0	1,8165	5,8359
22	9,1369	446,5	1624,7	1,8326	5,8245
23	9,4283	451,2	1625,3	1,8485	5,8131
24	9,7268	456,0	1626,0	1,8645	5,8017
25	10,032	460,8	1626,6	1,8804	5,7904
26	10,345	465,6	1627,2	1,8963	5,7792
27	10,666	470,4	1627,7	1,9122	5,7680
28	10,993	475,3	1628,3	1,9281	5,7569
29	11,329	480,1	1628,8	1,9439	5,7458

Tabelle 2: Stoffdaten von Ammoniak im homogenen Gebiet

<b><i>T</i></b>	<b><i>p</i></b>	<b><math>\rho</math></b>	<b><i>h</i></b>	<b><i>s</i></b>
<b>°C</b>	<b>bar</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>kJ/kg</b>	<b>kJ/(kg K)</b>
-24,00	1,515	1,290	1576,2	6,464
46,26	3,250	2,140	1724,9	6,628
24,41	3,250	2,318	1674,3	6,464
37,13	3,898	2,668	1700,3	6,464
46,50	3,898	2,579	1722,2	6,533
25,00	3,250	2,313	1675,7	6,469
25,00	3,898	2,795	1671,5	6,369
96,69	10,032	5,832	1818,3	6,369
106,52	10,023	5,654	1842,6	6,434
107,19	10,032	5,642	1844,2	6,438

### Aufgabe 3 (13 P)

Es wird nun der Wärmeübertrager einer Kompressionskältemaschine betrachtet, die nach dem gleichen Prinzip wie die aus Aufgabe 2 arbeitet. Mit dem Wärmestrom  $\dot{Q}_C$  soll ein Wassermassenstrom ( $\dot{m}_{H_2O}=0,4 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ ) aufgewärmt werden, um mit diesem Büroräume zu beheizen. Die Vorlauftemperatur des Heizungswassers soll  $40^\circ\text{C}$  betragen, die Rücklauftemperatur  $22^\circ\text{C}$ . **Beachten Sie die Hinweise auf der nächsten Seite.**



- a) Wie groß ist der Exergieverluststrom bei dieser Wärmeübertragung wenn das Prozessmedium im Zustandspunkt 4 und 5 folgende Enthalpie- und Entropiewerte hat:

$$h_4=1731,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s_4=6,0146 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}, h_5=1580,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ und } s_5=5,5371 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \quad (5\text{P})$$

Das Prozessmedium der Kompressionskältemaschine soll für die folgenden Aufgabenteile im Zustandspunkt 4 als überhitzt bei einer Temperatur von  $120^\circ\text{C}$  und einem Druck von  $12,749 \text{ bar}$  angenommen werden. Daraufhin kondensiert es isobar bis auf die Siedelinie (Zustandspunkt 5). Der Massenstrom des Ammoniaks beträgt  $\dot{m}_{NH_3}=0,2 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ .

- b) Stellen Sie die Zustandsänderungen der beiden Stoffströme im beigelegten  $T, \Delta\dot{H}$  Diagramm dar. Die minimale Temperaturdifferenz im Wärmeübertrager soll  $5 \text{ K}$  betragen. Erklären Sie ihr Vorgehen kurz. (6P)
- c) Kann mit dem Heizungswasserstrom das gesamte Ammoniak kondensiert werden und kann die gewünschte Vorlauftemperatur erreicht werden? Stellen Sie den eventuell benötigten zusätzlichen Kühl- und Heizbedarf ebenfalls im  $T, \Delta\dot{H}$  Diagramm dar. Begründen Sie ihre Antworten. (2P)

**Hinweise:**

Die isobare Wärmekapazität des Wassers kann im betrachteten Bereich als konstant mit einem Wert von  $c_{p, H_2O} = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$  angenommen werden. Die Umgebungstemperatur  $T_a$  beträgt  $18^\circ\text{C}$ .

Tabelle 3: Stoffdaten von Ammoniak im Zweiphasengebiet

<b>T</b>	<b>p</b>	<b>h'</b>	<b>h''</b>	<b>s'</b>	<b>s''</b>
<b>°C</b>	<b>bar</b>	<b>kJ/kg</b>	<b>kJ/kg</b>	<b>kJ/(kg K)</b>	<b>kJ/(kg K)</b>
33	12,749	499,47	1630,7	2,0069	5,7019

Tabelle 4: Stoffdaten von Ammoniak im homogenen Gebiet

<b>T</b>	<b>p</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b>h</b>	<b>s</b>
<b>°C</b>	<b>bar</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>kJ/kg</b>	<b>kJ/(kg K)</b>
120	12,749	6,9764	1868,2	6,3884

