

Prüfungsfach: Technische Thermodynamik

Termin: 28. Januar 2022

Dauer: 90 Minuten

Hilfsmittel: alle Hilfsmittel

Hinweise:

- Zahlenwerte sind auf mindestens vier Stellen genau anzugeben.
- Nicht nachvollziehbare Ergebnisse können nicht gewertet werden.

Name (wird vom Prüfer eingetragen) _____

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ
erreichbare Punktzahl	4	7	12	5	9	14	9	5	10	15	90
erreichte Punktzahl											

Erstkorrektor:

Note:

Datum:

Zweitkorrektor:

Note:

Datum:

1. Folgende Teilaufgaben können voneinander unabhängig bearbeitet werden:

a) In welchem Diagramm kann man die spezifische kinetische Energie wie sichtbar machen? (2 P)

b) In welchem Diagramm kann man den spezifischen Exergieverlust wie sichtbar machen? (2 P)

2. Eine Heizungsanlage nimmt den Wärmestrom $\dot{Q} = 110 \text{ kW}$ bei $t = 8 \text{ °C}$ aus dem Grundwasser auf und liefert bei $t_H = 55 \text{ °C}$ den Heizwärmestrom $|\dot{Q}_H| = 25 \text{ kW}$. Außerdem wird ein Wärmestrom $|\dot{Q}_U| = 85 \text{ kW}$ an die Umgebung abgegeben, deren Temperatur $t_U = -8 \text{ °C}$ beträgt.

Überprüfen Sie, ob die Anlage, ein sogenannter Wärmetransformator, den Hauptsätzen der Thermodynamik genügt. (7 P)

3. Einer adiabaten Gasturbinenanlage werden Brennstoff und Luft bei der Temperatur $t_B = t_L = 0 \text{ °C}$ zugeführt, während das Abgas die Anlage mit der Temperatur $t_A = 550 \text{ °C}$ verlässt. Für den Brennstoff sind folgende Daten gegeben:

Massenstrom $\dot{m}_B = 5.5 \text{ kg/s}$

Heizwert $H_u = 42.5 \text{ MJ/kg}$

Elementaranalyse: $c = 0.855$; $h = 0.13$; $s = 0.012$; $o = 0.003$

Der Massenstrom der Luft beträgt $\dot{m}_L = 295 \text{ kg/s}$.

Welche Nutzleistung liefert die Anlage? (12 P)

Mittlere spezifische Wärmekapazitäten:

	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ O	SO ₂
$c_{p,m} _0^{550\text{°C}} \text{ [kJ/(kg K)]}$	1.0698	0.9860	1.0291	1.9915	0.7357

4. In der adiabaten Brennkammer einer Gasturbine, die mit dem Druckverhältnis $\Pi = 15$ arbeitet, wird Methangas vollständig verbrannt. Das Methangas ($M_{\text{CH}_4} = 16 \text{ kg / kmol}$; $H_{u,\text{CH}_4}(t_0 = 25 \text{ °C}) = 50 \text{ MJ / kg}$) wird bei $t_B = 25 \text{ °C}$ zugeführt. Die Luft, die als perfektes Gas mit $c_{p,L} = 1.0 \text{ kJ / (kg K)}$ und $R_L = 291 \text{ J / (kg K)}$ betrachtet werden kann, wird mit $t_L = 430 \text{ °C}$ der Brennkammer zugeführt.

Wie groß muss das Verhältnis von Luftmassenstrom zu Brennstoffmassenstrom \dot{m}_L / \dot{m}_B mindestens sein, damit die Turbineneintrittstemperatur nicht mehr als $1'600 \text{ °C}$ beträgt? Das Verbrennungsgas kann als ideales Gasgemisch mit $c_{p,V} = 1.25 \text{ kJ / (kg K)}$ betrachtet werden. (5 P)

5. Zum Heizen eines Gebäudes wird eine Heizleistung (Wärmestrom) von 2 MW benötigt. Diese Heizleistung wird von einer Wärmepumpe (WP) und dem Kühlwasser einer Wärmekraftmaschine (WKM), die ausschließlich zum Antrieb der Wärmepumpe dient, geliefert. Die WKM führt einen Carnot-Prozess aus, bei dem die Wärmezufuhr bei 600 °C und die Wärmeabfuhr bei 120 °C erfolgt. Die abgeführte Wärme wird vollständig zur Raumbeheizung verwendet. Die WP führt ebenfalls einen Carnot-Prozess mit den Temperaturen 5 °C und 120 °C aus. Die abgegebene Wärme dient ebenfalls vollständig zur Raumbeheizung. Die Carnot-Prozesse sollen reversibel, die gesamte Anlage verlustlos arbeiten.

Wie groß ist der Wärmestrom, der der WKM zugeführt wird? (9 P)

6. In eine sehr gut isolierte, lange Leitung mit konstantem Querschnitt tritt Wasserdampf mit $p_1 = 200$ bar und $c_1 = 70$ m/s ein. Das Ende der Leitung liegt um 10 m höher als der Eintritt. Beim Durchströmen fällt die Temperatur des Dampfes von $t_1 = 500$ °C auf $t_2 = 490$ °C. Die Umgebungstemperatur beträgt $t_u = 20$ °C.

a) Wie groß ist der Druck p_2 am Ende der Leitung?

Hinweise: Es dürfen keine vereinfachenden Annahmen getroffen werden.

Es muss iteriert werden. Eine Iteration (zwei Rechengänge) ist hier ausreichend.

b) Berechnen Sie die Geschwindigkeit c_2 am Ende der Leitung sowie den spezifischen Exergieverlust $e_{v,12}$. (14 P)

Wasser bei $t = 490$ °C

p [bar]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg K)]
170	0.01755	3'253.1	6.2241
175	0.01695	3'245.8	6.2032
180	0.01638	3'238.4	6.1826
185	0.01584	3'231.0	6.1623
190	0.01533	3'223.5	6.1423
195	0.01485	3'215.9	6.1224
200	0.01439	3'208.3	6.1028

Wasser bei $t = 500$ °C

p [bar]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg K)]
200	0.01477	3'241.1	6.1456

7. In einer alten Gasturbinenanlage unbekannter Herkunft wird ein geschlossener Kreisprozess mit Helium durchlaufen. Aus Messungen ist bekannt, dass das Helium isobar auf $t_3 = 950 \text{ °C}$ erwärmt wird. Von der abgegebenen Turbinenleistung wird die eine Hälfte für den Verdichter benötigt; die andere Hälfte steht als Nutzleistung zur Verfügung. In der Turbine entspannt das Gas auf $p_4 = 2.1 \text{ bar}$ und wird danach isobar auf $t_1 = 25 \text{ °C}$ gekühlt. Darüber hinaus sind die isentropen Wirkungsgrade von Turbine ($\eta_{sT} = 0.91$) und Verdichter ($\eta_{sV} = 0.85$) bekannt. Es ist ideales Gas mit $R_i = 2.0772 \text{ kJ / (kg K)}$ und konstantem $c_p = 2.5 R_i$ anzunehmen.

Bestimmen Sie den Verdichterenddruck p_2 , dessen Messung leider vergessen wurde.

(9 P)

8. In dem Gegenstromdampfzerzeuger eines GuD-Kraftwerks sollen pro Sekunde 2 kg Wasser von $p = 60 \text{ bar}$ und $t = 25 \text{ °C}$ isobar erwärmt, verdampft und auf $t = 550 \text{ °C}$ überhitzt werden. Die dazu erforderliche Wärme wird von den 690 °C heißen Abgasen ($c_p = 1'004 \text{ J/(kg K)}$) der Gasturbine geliefert.

Auf welche Temperatur kann das Abgas unter Annahme idealer Bedingungen bei der Wärmeübertragung abgekühlt werden, wenn zwischen den Fluiden eine Grädigkeit von mindestens 5 K vorliegt?

(5 P)

Hinweis: Wasser im flüssigen Zustand kann wie ein inkompressibles Fluid mit $c_w = 4'190 \text{ J/(kg K)}$ behandelt werden.

Stoffwerte für Wasser bei 60 bar: $h(t = 550 \text{ °C}) = 3'539.3 \text{ kJ/kg}$

$r = 1'571.3 \text{ kJ/kg}$

$h'' = 2'785.0 \text{ kJ/kg}$

$t_s = 275.55 \text{ °C}$

9. In einem adiabaten Verdichter wird Luft, zu behandeln als ideales Gas mit $R_i = 0.287 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ und mit konstantem $c_p = 1.004 \text{ kJ}/(\text{kg K})$, von $p_1 = 1.1 \text{ bar}$, $t_1 = t_u = 10 \text{ °C}$ auf $p_2 = 6.35 \text{ bar}$ verdichtet. Dabei wird der Luft die spezifische technische Arbeit $w_{t12} = 230 \text{ kJ / kg}$ zugeführt.

- a) Berechnen Sie den isentropen Verdichterwirkungsgrad.
- b) Wie groß ist der spezifische Exergieverlust $e_{v,12}$?
- c) Die Zustandsänderung $1 \rightarrow 2$ der Luft soll im T-s-Diagramm durch eine Gerade approximiert werden. Berechnen Sie die spezifische dissipierte Energie $w_{\text{diss},12}$. (10 P)

10. Einer Brennkammer werden pro Sekunde ein kg stickstoff-, sauerstoff-, asche- und schwefelfreies Heizöl ($H_u (15 \text{ °C}) = 41 \text{ MJ / kg}$) und 15 kg Luft bei jeweils 15 °C zugeführt. Das Verbrennungsgas, welches als ideales Gasgemisch betrachtet werden kann, hat beim Verlassen der Brennkammer eine Temperatur von 160 °C und den gleichen Druck wie die zugeführte Luft. Die Zusammensetzung des Verbrennungsgases sowie die mittleren spezifischen Wärmekapazitäten der Komponenten sind in folgender Tabelle gegeben:

	O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O
$\xi_i [-]$	0.00653	0.72	0.19465	0.07882
$c_{p,i 15}^{160} [\text{kJ} / (\text{kg K})]$	0.935	1.042	0.895	1.885

- a) Berechnen Sie den von der Brennkammer abgegebenen Wärmestrom.
- b) Ermitteln Sie die Zusammensetzung des Heizöls (Elementaranalyse). (15 P)