

Klausur im Fach „Höhere Thermodynamik“ am 09.08.2011

Name:

Vorname:

Aufgabe	1	2	3	4	5	Σ
mögliche Punkte	13	6	6	7	13,5	45,5
erreichte Punkte						

1. Aufgabe

Lösen Sie die folgenden Aufgaben und begründen Sie stets Ihre Antworten!

a) Bei einer isentropen Expansion ist die abgeführte Arbeit

- (1) größer als die innere Energiezunahme. (4) größer als die innere Energieabnahme.
 (2) kleiner als die innere Energiezunahme. (5) kleiner als die innere Energieabnahme.
 (3) gleich der inneren Energieabnahme. (6) unabhängig von der inneren Energieänderung.

b) Aus der Definitionsgleichung der Entropie (Fundamentalrelation) ergibt sich durch Integration längs der Isothermen im Nassdampfgebiet eine der folgenden Aussagen.

(1) $T(s'' - s') = h'' - h'$ (4) $\int_1^2 T \cdot ds = c_p \cdot (T'' - T') - R \cdot T' \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$

(2) $\int_1^2 T \cdot ds = c_p \cdot (T_2 - T_1)$ (5) Die Aussage ist in den vorstehenden Gleichungen nicht enthalten.

(3) $T \cdot (s'' - s') = h'' - h' - v' \cdot (p_2 - p_1)$

c) Leiten Sie aus den folgenden Beziehungen den Zusammenhang $\beta = p \cdot \gamma \cdot \chi$ her!

Hinweis: Bilden Sie zunächst das totale Differential von $p = f(T, V)$.

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \qquad \gamma = \frac{1}{p} \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V \qquad \chi = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$$

d) Welcher Fall ist ungünstiger, wenn Reibungsverluste bei 100 K oder bei 1000 K auftreten?

e) Einem Kühlschrank fließt durch Wandwärmeübertragung ein gewisser Energiestrom zu. Wird die Exergie des Kühlraums durch die so gewonnene Energie vergrößert oder verkleinert? Begründen Sie!

f) Wenn das Volumen, das eine bestimmte Menge Luft einnimmt, abnimmt, dann muss die Lufttemperatur

- (1) steigen, (2) sinken, (3) kann man nicht sagen.

g) An einem warmen Sommertag mit $20\text{ }^\circ\text{C}$ hat man einen Liter eiskalten Wassers und möchte, dass er 15 Minuten später noch so kalt wie möglich ist, und man hätte rund 100 Milliliter siedendes Wasser, die man entweder jetzt oder 14 Minuten später dazugeben muss. Wäre das Mischen am besten

- (1) sofort, (2) später, (3) so oder so kein Unterschied.

2. Aufgabe

Ein Behälter mit starren Wänden und dem Innenvolumen $V = 1\text{ m}^3$ ist vollständig evakuiert. Durch ein kleines Leck strömt langsam Luft aus der Umgebung ($T_u = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $p_u = 1\text{ bar}$) in den Behälter, bis dieser ganz mit Luft gefüllt ist. Wie groß ist die bei diesem Prozess erzeugte irreversible Entropie $S_{ir\eta_2}$!

Annahmen: Da die Luft sehr langsam einströmt können Sie annehmen, dass die Temperatur im Behälter aufgrund der Wärmeübertragung mit der Umgebung stets der Umgebungstemperatur entspricht. Die Luft kann als ideales Gas angenommen werden. Äußere und kinetische Energien sind zu vernachlässigen.

3. Aufgabe

Während er seiner liebsten Tätigkeit nachgeht, fragt sich ein thermodynamisch interessierter Hausmann, welche Leistung P_{max} aus der Abluft $\dot{m}_L = 0,001\frac{\text{kg}}{\text{s}}$ eines stationär arbeitenden Staubsaugers maximal gewonnen werden kann.

Die Abluft kann als ideales Gas mit $\kappa = 1,4$ und $R = 287\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ angenommen werden. Sie verlässt den Staubsauger mit der Temperatur $T_1 = 303\text{ K}$ und dem Druck $p_1 = 1,2\text{ bar}$. In dem zu reinigenden Zimmer herrscht der Druck $p_u = 1\text{ bar}$ und die Temperatur $T_u = 293\text{ K}$.

4. Aufgabe

Zwei Ingenieure bekommen die Aufgabe, sich Möglichkeiten zu überlegen, wie die Leistung einer Dampfturbine geregelt werden könnte.

Kandidat A schlägt die aufwändige Lösung vor, den Massenstrom des zuströmenden Frischdampfes entsprechend dem Bedarf zu regeln. Beim Einstellen des Massenstroms ändert sich die spezifische Entropie des Dampfes nicht.

Kandidat B meint, dass es doch auch funktionieren müsste, wenn der zuströmende Frischdampf vor der Turbine auf einen niedrigeren Druck gedrosselt wird. Zur Betrachtung der Drosselung darf davon ausgegangen werden, dass diese adiabat erfolgt und dass Änderungen der kinetischen Energie des Dampfes vernachlässigt werden können. Konkret wird der mit $\vartheta_1 = 540^\circ\text{C}$ und $p_1 = 180 \text{ bar}$ zuströmende Dampf ($h_1 = 3387,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$, $s_1 = 6,3722 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$) auf $p_2 = 155 \text{ bar}$ gedrosselt. Der Umgebungszustand ist durch $\vartheta_u = 15^\circ\text{C}$ und $p_u = 1 \text{ bar}$ ($h_u = 63,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$, $s_u = 0,2237 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$) gegeben.

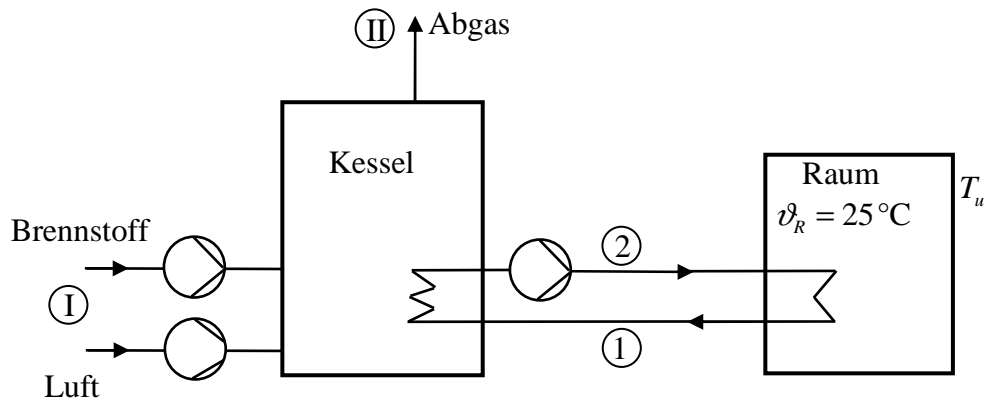
Wie groß ist jeweils der prozentuale Exergieverlust beider Varianten?

Hinweis: Nutzen Sie zur Lösung die angegebene Tabelle und interpolieren Sie linear, wenn nötig.

Tabelle 1: Stoffdaten von Wasser bei 155 bar

$\vartheta [^\circ\text{C}]$	520	530	540
$h [\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}]$	3360,7	3388,5	3415,9
$s [\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}]$	6,3993	6,4341	6,4681

5. Aufgabe



Eine Heizungsanlage zur Raumheizung verbraucht Brennstoff (C_8H_{18}) und Luft bei einem Druck $p_I = 1 \text{ bar}$ und einer Temperatur $\vartheta_I = 25^\circ\text{C}$. Der Brennstoffmassenstrom beträgt $\dot{m}_B = 0,72 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$. Bei der isobaren vollständigen Verbrennung mit $\lambda = 1,5$ wird ein Wärmestrom \dot{Q}_W an das Heizwasser abgegeben. Danach verlassen die gasförmigen Abgase bei einem Druck $p_{II} = 1 \text{ bar}$ und einer Temperatur $\vartheta_{II} = 227^\circ\text{C}$ den Heizkessel. Das Heizwasser gelangt in einem geschlossenen Kreislauf in den Heizkörper des zu beheizenden Raumes; die Raumtemperatur ist zeitlich konstant und beträgt $\vartheta_R = 25^\circ\text{C}$. Die an den Raum abgegebene Wärme wird durch Fenster und Außenwände an die Umgebung ($T_u = 290 \text{ K}$) abgeführt.

Annahmen: Luft und Abgase sollen als ideale Gase behandelt werden. Die molaren Enthalpien des Brennstoffes können der beigefügten Tabelle entnommen werden. Heizwasserleitung und Kessel können als adiabat angesehen werden. Die Leistungen aller Hilfsaggregate (Pumpen, Gebläse) sowie die äußeren Energien können vernachlässigt werden.

T [K]	h_m [MJ/kmol]
0	-170,634
298	-139,714
300	-139,383
400	-117,252
500	-89,870
600	-58,092

- Bestimmen Sie die Molenströme aller Brennstoff- und Abgaskomponenten!
- Welchen Volumenstrom \dot{V}_L muss das Luftgebläse am Kesseleintritt fördern?
- Welche Wärmemenge \dot{Q}_W wird an das Heizungswasser abgegeben?
- Wie hoch ist die Heizwasser-Vorlauftemperatur ϑ_2 , wenn das Wasser ($\dot{m}_W = 0,4 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$) mit $\vartheta_1 = 66^\circ\text{C}$ in den Kessel eintritt?
- Berechnen Sie den Exergieverlust, welcher durch die Wärmeübertragung zwischen dem Heizkörper und dem zu beheizenden Raum bedingt ist!