

KLAUSUR
Thermodynamik und Wärmeübertragung
MECHATRONIK
27.09.2004

[45 min, 45 Punkte]

Name, Vorname:

Matrikel-Nr. :

Aufgabe 1 [25 Punkte]

In einer Anlage strömt Helium durch einen Erhitzer und danach durch eine Gasturbine. Der Zustand des Heliums vor dem Erhitzer sei 450°C und 8 bar.

Im Erhitzer wird dem Helium isobar eine spezifische Wärmemenge von 2500 kJ/kg zugeführt.

Der polytrope Exponent des Expansionsvorgangs in der Turbine beträgt 1,75. Am Ausgang der Turbine herrscht ein Gegendruck von 3 bar. Die Gasturbine soll eine Leistung von 35 MW haben.

Helium kann als ideales Gas betrachtet werden ($M = 4 \text{ kg/kmol}$; $\kappa = 1,667$). Die molare Gaskonstante ist $R_0 = 8,314 \text{ kJ/(kmol K)}$.

Bestimmen Sie

- 1.1. die Gastemperatur am Turbineneintritt?
- 1.2. die spezifische technische Arbeit der Turbine bei einem polytropen Wirkungsgrad von 0,88?
- 1.3. den Normvolumenstrom des Heliums pro Sekunde? (Hinweis: Der Normzustand ist 0°C und 1,013 bar)

Aufgabe 2 [20 Punkte]

Brenngas aus Methan (CH_4), Ethan (C_2H_6), n-Oktan (C_8H_{18}), Stickstoff (N_2) und Wasserdampf (H_2O) mit der folgenden Zusammensetzung:

	CH_4	C_2H_6	C_8H_{18}	N_2	H_2O
$\text{m}^3/\text{m}^3 \text{ B}$	0,8	0,05	0,1	0,02	0,03

wird in einer Brennkammer mit Luft vollständig bei einem Luftverhältnis von 1,25 verbrannt.

Der Mengenstrom des Brenngases beträgt 1,15 kmol pro Stunde.

Berechnen Sie

- 2.1. den stündlichen Mengenstrom der Verbrennungsluft,
- 2.2. und die Zusammensetzung des feuchten Rauchgases in Vol %.

KLAUSUR
Thermodynamik und Wärmeübertragung
MECHATRONIK
15.03.2004

[45 min, 45 Punkte]

Name, Vorname:

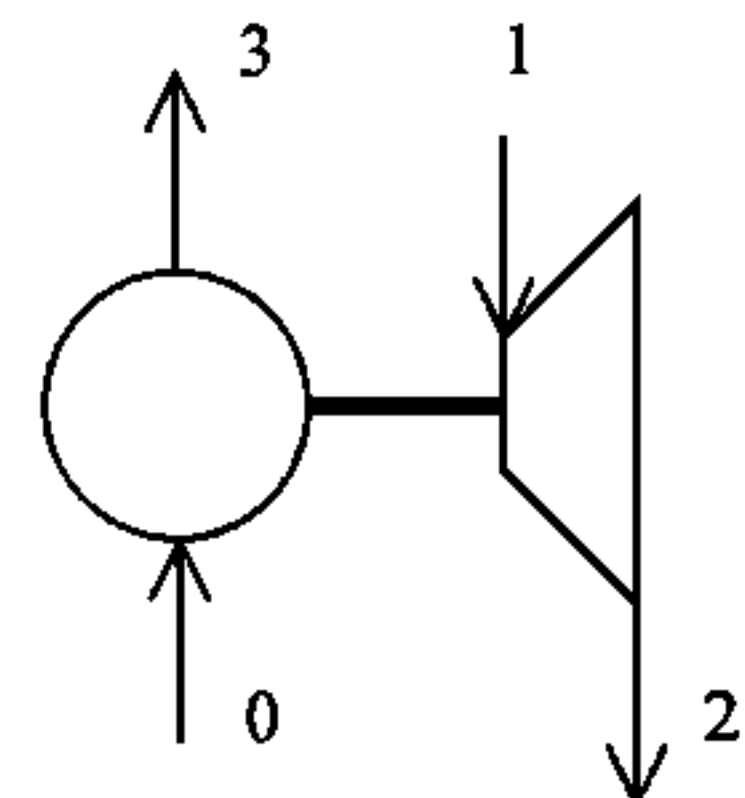
Matrikel-Nr. :

Aufgabe 1 [23 Punkte]

Der Abgasturbolader eines Verbrennungsmotors besteht aus einer Turbine mit mechanisch gekoppelten Verdichter. Turbine und Verdichter sind beide wärmeisoliert.

Das Motorabgas (Zustand 1) wird in der Turbine auf p_2 entspannt. Die Turbine gibt ihre Leistung an den Verdichter ab, der Umgebungsluft (Zustand 0) auf den Druck p_3 verdichtet. Die Vorgänge in der Turbine und im Verdichter sind in erster Näherung als reversibel adiabat anzunehmen. Der mechanische Wirkungsgrad des Turboladers beträgt $\eta_M = 0,95$.

	Temperatur	Druck
Zustand 1, Abgas nach Motor	$\vartheta_1 = 500 \text{ °C}$	$p_1 = 6 \text{ bar}$
Zustand 2, Abgas nach Turbine	ϑ_2	$p_2 = 1,5 \text{ bar}$
Zustand 0, Umgebungsluft	$\vartheta_0 = 20 \text{ °C}$	$p_0 = 1 \text{ bar}$
Zustand 3, verdichtete Luft nach Verdichter	ϑ_3	p_3



Abgas und Luft können als ideales Gas betrachtet werden.

- Für Abgas gilt: $R_A = 0,3 \text{ kJ / (kg K)}$, $c_{p,A} = 1,1 \text{ kJ / (kg K)}$

- Für Luft: $R_L = 0,287 \text{ kJ / (kg K)}$, $\kappa_L = 1,4$

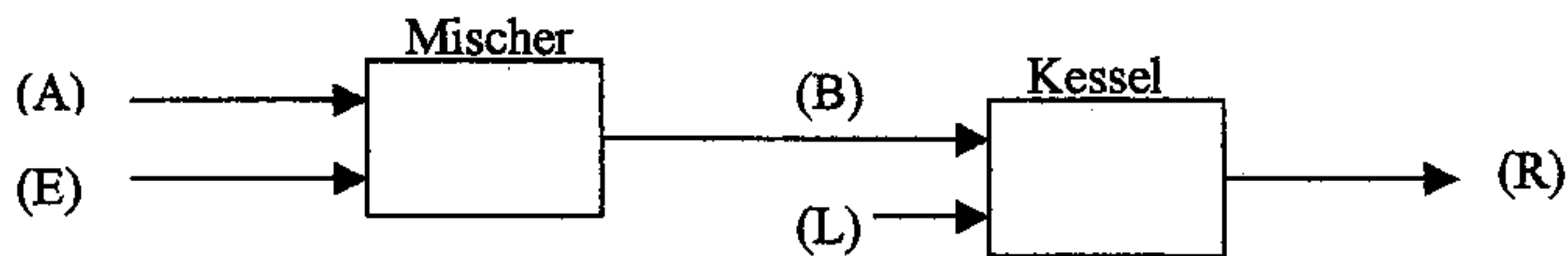
- 1.1 Berechnen Sie die Temperatur ϑ_2 nach der Turbine.
- 1.2 Welche spezifische technische Arbeit in [kJ/kg] leistet die Turbine?
- 1.3 Wie groß ist die Temperatur ϑ_3 der verdichteten Luft, wenn das Verhältnis der Massenströme von Turbine und Verdichter $\frac{\dot{m}_T}{\dot{m}_V} = 1,1$ beträgt?
- 1.4 Wie hoch ist der Ladedruck p_3 ?

Aufgabe 2 [22 Punkte]

Die Abluft einer Reinigungskammer für Berufskleidungen enthält u. a. Benzindämpfe, hier vereinfachend als n-Oktan mit der chemischen Summenformel C_8H_{18} . Die molare Zusammensetzung der Abluft ist:

	n-Oktan C_8H_{18}	Wasserdampf	Sauerstoff O_2	Stickstoff N_2
kmol / kmol A	0,005	0,02	0,205	0,77

Da Benzindämpfe physiologisch schädlich ist, wird die benzindampfhaltige, feuchte Abluft (A) mit Erdgas (E) vermischt und zusammen als Brennstoff (B) in einem Kessel bei konstantem Druck vollständig mit trockener Luft (L) aus der Umgebung verbrannt.



Erdgas kann vereinfachend als reines Methan CH_4 betrachtet werden. Das molare Mischungsverhältnis von Abluft (A) zu Erdgas (E) beträgt 1:1.

- 2.1 Wie groß ist der Luftbedarf in [kmol L / kmol B] bei einem Verbrennungsluftverhältnis von $\lambda = 1,2$?
- 2.2 Berechnen Sie die molare Zusammensetzung des feuchten Rauchgases (R).



KLAUSUR
Thermodynamik und Wärmeübertragung
MECHATRONIK
22.09.2003

[45 min, 45 Punkte]

Name, Vorname:

Matrikel-Nr. :

Aufgabe 1 [28 Punkte]

In einer Gasturbinenanlage wird Helium ($R = 2,078 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $\kappa = 1,667$) zunächst von $400 \text{ }^\circ\text{C}$ auf $850 \text{ }^\circ\text{C}$ durch isobare Wärmezufuhr erhitzt. In der anschließenden Gasturbine mit gekühlten Turbinenschaufeln entspannt das Helium von 6 bar auf 2 bar . Am Ende der irreversibel polytropen Expansion (am Turbinenausstritt) hat das Helium eine Temperatur von $430 \text{ }^\circ\text{C}$.

- 1.1 Wie groß ist die zugeführte spezifische Wärmemenge?
- 1.2 Bestimmen Sie den Polytropenexponent und die spezifische technische Arbeit der Gasturbine, wenn der polytrope Wirkungsgrad der Gasturbine 0,88 beträgt.
- 1.3 Der Normvolumenstrom des Heliums beträgt $100 \text{ m}^3_{\text{n}} / \text{s}$. Bestimmen Sie die Turbinenleistung in kW ? (Hinweis: Der Normzustand ist 0°C und $1,013 \text{ bar}$)

Aufgabe 2 [17 Punkte]

Heizöl mit der folgenden Zusammensetzung in Massenanteilen

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Schwefel
kg / kg B	0,86	0,13	0,01

wird im Dampfkessel eines Industriekraftwerks mit Luft vollständig verbrannt. Das Luftverhältnis ist 1,2. Der Massenstrom des Heizöls beträgt 2,58 kg/s.

Berechnen Sie

- 3.1. den Luftbedarf in kg/kg B und den Normvolumenstrom der Luft in m^3/s ,
- 3.2. die feuchte Rauchgaszusammensetzung in Massenanteilen,
- 3.3. den Heizwert des Heizöls, wenn der Brennwert des Heizöls 45400 kJ/kg beträgt.

KLAUSUR
Thermodynamik und Wärmeübertragung
MECHATRONIK
17.03.2003

[45 min, 45 Punkte]

Name, Vorname:

Matrikel-Nr. :

Aufgabe 1 [25 Punkte]

In einem Behälter mit dem Volumen $0,1 \text{ m}^3$ befindet sich Luft bei einem Druck von $p_1 = 1 \text{ bar}$ und bei der Umgebungstemperatur von $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Die Luft im Behälter wird schrittweise wie folgt entfernt:

- 1 – 2 : Die Luft wird isotherm bis auf $p_2 = 0,25 \text{ bar}$ abgesaugt.
- 2 – 3 : Anschließend wird die Luft im verschlossenen Behälter bis $p_3 = 1 \text{ bar}$ erwärmt.
- 3 – 4 : Die Luft wird erneut isotherm bis auf $p_4 = 0,25 \text{ bar}$ abgesaugt.
- 4 – 5 : Danach wird der Behälter geschlossen. Nach einiger Zeit stellt sich ein thermisches Gleichgewicht zwischen dem Behälter und der Umgebung ein.

Luft kann als ideales Gas ($R = 287,2 \text{ J/(kg K)}$; $\kappa = 1,4$) betrachtet werden.

- 1.1. Wie groß ist die Luftmasse im Ausgangszustand 1?
- 1.2. Welche Temperatur hat die Luft im Behälter nach der Erwärmung?
- 1.3. Wie groß ist die zugeführte Wärmemenge?
- 1.4. Wie groß ist die Luftmasse im Endzustand 5?
- 1.5. Welcher Behälterdruck stellt sich im thermischen Gleichgewicht ein?

Aufgabe 2 [20 Punkte]

Brenngas aus Methan (CH_4), Ethan (C_2H_6) und Stickstoff (N_2) mit der folgenden Zusammensetzung:

	CH_4	C_2H_6	N_2
$\text{m}^3/\text{m}^3 \text{ B}$	0,9	0,05	0,05

wird in einer Versuchsbrennkammer mit Luft vollständig verbrannt.

Brenngas:

Mengenstrom: $1 \text{ kmol} / \text{h}$

Luft:

Mengenstrom: $11 \text{ kmol} / \text{h}$

Berechnen Sie

- 2.1. das Verbrennungsluftverhältnis λ ,
- 2.2. und die Zusammensetzung des trockenen Rauchgases in *Vol %*,

KLAUSUR
Thermodynamik und Wärmeübertragung
MECHATRONIK
23.09.2002

[45 min, 45 Punkte]

Name, Vorname:

Matrikel-Nr. :

Aufgabe 1 [20 Punkte]

In einem Behälter (25 dm^3) befindet sich ein Gasgemisch aus Sauerstoff, Stickstoff und Kohlendioxid mit der folgenden Zusammensetzung:

O_2	N_2	CO_2	
0,20	0,62	0,18	<i>kmol / kmol</i>

Der Behälterdruck beträgt 60 bar und die Temperatur 25°C .

- 1.1. Berechnen Sie die Masse des Gasgemisches im Stahlbehälter.
- 1.2. Welche Wärmemenge in kJ wird benötigt, wenn das Gasgemisch auf 50°C erwärmt werden soll?
- 1.3. Wie groß ist der Behälterdruck nach der Erwärmung?

Aufgabe 2 [25 Punkte]

In einer Brennkammer wird $0,8 \text{ m}_n^3 / \text{s}$ (*) Kohlenmonoxid CO vollständig mit trockener Luft bei einem Luftverhältnis von $\lambda = 1,15$ verbrannt.

(*) Angabe m_n^3 bezieht sich auf den physikalischen Normzustand ($0 \text{ }^\circ\text{C}$ und $1,01325 \text{ bar}$).

- 2.1 Wie groß ist der Luftstrom in m_n^3 / s für die Verbrennung?
- 2.2 Berechnen Sie die volumetrische Zusammensetzung des Abgases?

KLAUSUR
Thermodynamik und Wärmeübertragung
MECHATRONIK
11.03.2002

[45 min, 45 Punkte]

Name, Vorname:

Matrikel-Nr. :

Aufgabe 1 [20 Punkte]

In einem Versuchslabor läuft ständig ein Motor, der der Umgebung einen Wärmestrom von $5,3 \text{ kW}$ abgibt. Über eine elektrische Heizung von 10 kW wird die Labortemperatur geregelt.

Das Labor wird durch einen Ventilator mit einem Luftdurchsatz von $1800 \text{ m}^3/\text{h}$ (*) belüftet. Luft kann als ideales Gas angenommen werden ($R = 287,2 \text{ J}/(\text{kg K})$; $\kappa = 1,4$). Die Außenlufttemperatur beträgt $16 \text{ }^\circ\text{C}$.

- 1.1. Wie groß ist der Luftmassenstrom des Ventilators?
- 1.2. Wie lange darf die elektrische Heizung durchschnittlich pro Stunde eingeschaltet sein, damit die Raumtemperatur $28 \text{ }^\circ\text{C}$ nicht überschreitet?

(*) Normbedingung: $1,013 \text{ bar}$, $0 \text{ }^\circ\text{C}$

Aufgabe 2 [25 Punkte]

Ein Brenngas besteht aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Acetylen und Sauerstoff mit der folgenden Zusammensetzung in Molenbrüchen:

H_2	CO	C_2H_2	O_2
0,32	0,48	0,12	0,08

In einem Kessel wird das Brenngas mit trockener Luft bei einem Luftverhältnis von $\lambda = 1,5$ vollständig verbrannt.

- 2.1 Welchen molaren Heizwert hat das Brenngas? Bestimmen Sie den molaren Brennwert des Brenngases.
- 2.2 Wie groß ist der Luftbedarf in $kmol L / kmol B$?
- 2.3 Berechnen Sie die volumetrische Zusammensetzung des trockenen Rauchgases?

KLAUSUR
Thermodynamik und Wärmeübertragung
MECHATRONIK
17.09.2001

[45 min, 45 Punkte]

Name, Vorname:

Matrikel-Nr. :

Aufgabe 1 [15 Punkte]

Auf einem masselosen beweglichen Kolben von 400 mm Durchmesser eines Zylinders ruht eine Last von 3500 kg. Im Zylinder befindet sich 2,5 kg Luft mit 18 °C.

Durch Wärmezufuhr vergrößert sich das Volumen auf das Doppelte des ursprünglichen Volumens. Der Luftdruck ist 1008 mbar.

Luft kann als ideales Gas ($R = 287 \text{ J}/(\text{kg K})$; $\kappa = 1,4$) betrachtet werden. Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2$.

- 1.1. Wie groß ist der Druck und welche Temperatur herrscht dann im Zylinder?
- 1.2. Wie groß ist das spezifische Volumen nach der Wärmezufuhr?
- 1.3. Wie groß ist die zugeführte Wärmemenge?

Aufgabe 2 [30 Punkte]

Ein Torf besteht aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Schwefel, Sauerstoff, Stickstoff, Asche und Wasser mit der folgenden Zusammensetzung in *Gewicht %*:

	<i>c</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>o</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>w</i>
<i>Gew. %</i>	41,0	4,2	2,6	23,9	1,7	6,6	20

Der Torf wird in einem Kessel mit trockener Luft bei einem Luftverhältnis von $\lambda = 1,5$ vollständig verbrannt.

- 2.1 Welchen Heizwert hat der Torf?
- 2.2 Wie groß ist der Mindestluftbedarf in $m^3 L / kg B$?
- 2.3 Asche wird direkt im Verbrennungsraum ausgeschieden. Der Anteil der Flugasche im Rauchgaskanal kann vernachlässigt werden. Berechnen Sie die volumetrische Zusammensetzung des feuchten Rauchgases.

KLAUSUR
Thermodynamik und Wärmeübertragung
MECHATRONIK
12.03.2001

[45 min, 45 Punkte]

Name, Vorname:

Matrikel-Nr. :

Aufgabe 1 [20 Punkte]

In einem Kolbenkompressor wird Umgebungsluft von 1 bar auf 3,87 bar reversibel adiabat verdichtet. Danach wird die verdichtete Luft in einem Kühler isobar auf Umgebungstemperatur von 20 °C abgekühlt.

Luft kann als ideales Gas mit $R = 287,2 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ und $\kappa = 1,4$ betrachtet werden.

- 1.1. Skizzieren Sie den Vorgang in einem p, v -Diagramm. Zeichnen Sie zusätzlich ins p, v -Diagramm die isotherme Linie durch den Ansaugzustand ein.
- 1.2. Ermitteln Sie die Lufttemperatur vor dem Kühler.
- 1.3. Der Luftvolumenstrom sei stündlich 773 m_n^3 bezogen auf Normbedingung. Berechnen Sie die erforderliche Antriebsleistung in kW.
- 1.4. Welche Wärme [kW] muss im Kühler abgeführt werden?

Aufgabe 2 [25 Punkte]

Ein Produktgas aus einer Chemieranlage hat die folgende Zusammensetzung in Vol %:

	CO	H_2	CH_4	CO_2	N_2
Vol %	31,2	18,7	1,5	16	32,6

Das Produktgas (P) wird mit Erdgas (E) im Verhältnis $V_P/V_E = 1/5$ vermischt, bevor es in einem Ofen mit Luft vollständig bei einem Luftverhältnis von $\lambda = 1,5$ verbrannt wird. Erdgas kann vereinfachend als reine Methan CH_4 angenommen werden.

Berechnen Sie:

- 2.1 den auf das Normvolumen bezogenen Heizwert des Brenngases in kJ / m_n^3
- 2.2 den volumetrischen Luftbedarf in $m_n^3 L / m_n^3 B$,
- 2.3 die volumetrische Zusammensetzung des feuchten Rauchgases.