



Studiengang	Wirtschaftsingenieurwesen
Fach	Thermodynamik/Wärmetechnik
Art der Leistung	Prüfungsleistung
Klausur-Knz.	WI-TWT-P12-041211
Datum	11.12.2004

Bezüglich der Anfertigung Ihrer Arbeit sind folgende Hinweise verbindlich:

- Bei numerisch zu lösenden Aufgaben ist außer der Lösung stets der **Lösungsweg anzugeben**, aus dem eindeutig hervorzugehen hat, wie die Lösung zustande gekommen ist.
- Zur Prüfung sind bis auf Schreib- und Zeichenutensilien ausschließlich die nachstehend genannten Hilfsmittel zugelassen. Werden **andere als die hier angegebenen Hilfsmittel verwendet oder Täuschungsversuche** festgestellt, gilt die Prüfung als nicht bestanden und wird mit der Note 5 bewertet.

Bearbeitungszeit:	90 Minuten
Anzahl Aufgaben:	- 4 -
Höchstpunktzahl:	- 100 -

Hilfsmittel :
HFH-Taschenrechner
Studienbriefe
Formelsammlung

Bewertungsschema:

Punktzahl		Note	
von	bis einschl.		
95	100	1,0	sehr gut
90	94,5	1,3	sehr gut
85	89,5	1,7	gut
80	84,5	2,0	gut
75	79,5	2,3	gut
70	74,5	2,7	befriedigend
65	69,5	3,0	befriedigend
60	64,5	3,3	befriedigend
55	59,5	3,7	ausreichend
50	54,5	4,0	ausreichend
0	49,5	5,0	nicht ausreichend

Viel Erfolg!

Aufgabe 1**Zustandsgleichungen****25 Punkte**

In einer Stahlflasche mit einem Volumen von $V = 75 \text{ l}$, ausgelegt für einen maximalen Innendruck von $p_2 = 100 \text{ bar}$, befinden sich bei Raumtemperatur ($T_1 = 20^\circ\text{C}$) $4,5 \text{ kg}$ eines Stickstoff/Sauerstoff-Gemisches. Betrachten Sie das Gemisch als ideales Gas mit einer spezifischen Gaskonstante von $R = 277,15 \text{ J}/(\text{kg K})$.

Berechnen Sie für das Gemisch:

- | | |
|---|---------------|
| a) die mittlere Molmasse M | 5 Pkte |
| b) die Substanzmenge n | 5 Pkte |
| c) den Druck p_1 bei Raumtemperatur | 5 Pkte |
| d) das Molvolumen \bar{v} unter den aktuellen Zustandsbedingungen | 5 Pkte |
| e) die Temperatur T_2 , bei der die Flasche zu einem Sicherheitsrisiko wird, d.h. bei der der Grenzdruck von 100 bar erreicht wird. | 5 Pkte |

Aufgabe 2**Wärmeübertragung****16 Punkte**

In einer 40 m breiten und 8 m hohen leeren Lagerhalle mit Flachdach ist über die gesamte Breite und Höhe eine Trennwand aus Aluminium eingezogen. Durch einen Brand in der linken Hallenhälfte steigt die Temperatur dieser Trennwand schnell auf 350°C .

Berechnen Sie unter diesen Bedingungen den durch die Strahlung verursachten Wärmestrom \dot{Q} von der Trennwand zur gegenüberliegenden, gleich großen Außenwand aus Ziegelstein in der rechten Hallenhälfte, die dadurch auf 30°C erwärmt wird.

Die für die Berechnung benötigten weiteren Kennwerte entnehmen Sie dem Studienbrief 3, Tab. 1.6.

Aufgabe 3**Strömungslehre****31 Punkte**

Die freiwillige Feuerwehr versucht, den Brand von Aufgabe 2 zu löschen. Dazu werden 15 kg Wasser pro Sekunde von einem Löschteich über eine 25 m lange waagerechte Rohrleitung (gebrauchter Stahl, mittlere Verkrustung, Durchmesser 150 mm) und einen anschließenden 50 m langen Schlauch (neuer Gummischlauch, Durchmesser 50 mm) auf das Feuer gespritzt. Leitungsübergänge und Einbauten bleiben außer Betracht.

Folgende Daten sind bekannt:

kinematische Viskosität des Wassers: $\nu = 1,006 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Dichte des Wassers: $\rho = 1,00 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Weitere für die Berechnung benötigte Daten entnehmen Sie Tab. 2.1 und Abb. 2.9 in Studienbrief 4

- a) Berechnen Sie zunächst die Strömungsgeschwindigkeit c im Rohr und daraus den Druckverlust, der im Rohr infolge der inneren Rauigkeit entsteht. **18 Pkte**
- b) Berechnen Sie auf gleiche Weise wie unter a) den Druckverlust im Schlauch **10 Pkte**
- c) Vergleichen Sie die Ergebnisse von a) und b) und treffen Sie eine Aussage darüber, welche praktische Auswirkung der Einsatz von Rohrleitung und Schlauchleitung auf die erforderliche Leistung der Pumpe hat. **3 Pkte**

Aufgabe 4**1. Hauptsatz und Kreisprozesse****28 Punkte**

Ein Behälter mit beweglichem Kolben enthält Luft als ideales Gas.

Bekannte Daten: $p_1 = 5,0 \text{ bar}$, $V_1 = 0,50 \text{ m}^3$, $T_1 = 25 \text{ °C}$, $R = 287,1 \text{ J/(kg K)}$, $\kappa = 1,4$

Das Gas wird vom Zustand 1 ausgehend folgenden Prozessen unterzogen:

1 → 2: schnelle (adiabatisch reversible) Entspannung auf das doppelte Volumen V_2 .

2 → 3: langsame (isochore) Erwärmung auf die Umgebungstemperatur $T_3 = T_1$.

3 → 4: langsame (isotherme) Kompression auf das Ausgangsvolumen $V_4 = V_1$.

- a) Berechnen Sie für alle vier Zustände die jeweiligen thermodynamischen Größen p , V und T **20 Pkte**
- b) Skizzieren Sie die Zustände und die Zustandsänderungen in einem p,V - und einem T,S -Diagramm **8 Pkte**

Korrekturrichtlinie zur Prüfungsleistung
Thermodynamik/Wärmetechik am 11.12.2004
Wirtschaftsingenieurwesen
WI-TWT-P12 – 041211

Für die Bewertung und Abgabe der Prüfungsleistung sind folgende Hinweise verbindlich:

- Die Vergabe der Punkte nehmen Sie bitte so vor, wie in der Korrekturrichtlinie ausgewiesen. Eine summarische Angabe von Punkten für Aufgaben, die in der Korrekturrichtlinie detailliert bewertet worden sind, ist nicht gestattet.
- Nur dann, wenn die Punkte für eine Aufgabe nicht differenziert vorgegeben sind, ist ihre Aufschlüsselung auf die einzelnen Lösungsschritte Ihnen überlassen.
- Stoßen Sie bei Ihrer Korrektur auf einen anderen als den in der Korrekturrichtlinie angegebenen, aber ebenfalls richtigen Lösungsweg, dann nehmen Sie bitte die Verteilung der Punkte sinngemäß zur Korrekturrichtlinie vor.
- Rechenfehler sollten grundsätzlich nur zur Abwertung des betreffenden Teilschrittes führen. Wurde mit einem falschen Zwischenergebnis richtig weitergerechnet, so erteilen Sie die hierfür vorgesehenen Punkte ohne weiteren Abzug.
- Ihre Korrekturhinweise und Punktbewertung nehmen Sie bitte in einer zweifelsfrei lesbaren Schrift vor.
- Die von Ihnen vergebenen Punkte und die sich daraus gemäß dem nachstehenden Notenschema ergebende Bewertung tragen Sie bitte in den Klausur-Mantelbogen sowie in das Formular „Klausurergebnis“ (Ergebnisliste) ein.
- Gemäß der Diplomprüfungsordnung ist Ihrer Bewertung folgendes Bewertungsschema zugrunde zu legen:

Punktzahl		Note	
von	bis einschl.		
95	100	1,0	sehr gut
90	94,5	1,3	sehr gut
85	89,5	1,7	gut
80	84,5	2,0	gut
75	79,5	2,3	gut
70	74,5	2,7	befriedigend
65	69,5	3,0	befriedigend
60	64,5	3,3	befriedigend
55	59,5	3,7	ausreichend
50	54,5	4,0	ausreichend
0	49,5	5,0	nicht ausreichend

- Die korrigierten Arbeiten reichen Sie bitte spätestens bis zum

05. Januar 2005

in Ihrem Studienzentrum ein. Dies muss persönlich oder per Einschreiben erfolgen. Der angegebene Termin ist unbedingt einzuhalten. Sollte sich aus vorher nicht absehbaren Gründen eine Terminüberschreitung abzeichnen, so bitten wir Sie, dies unverzüglich Ihrem Studienzentrenleiter anzuzeigen.

Lösung 1

vgl. SB 1; Kap. 1 und 3

25 Punkte**a) Mittlere Molmasse**mit $R_0 = 8314,51 \text{ J / (kmol K)}$ ergibt sich mit Gl. (3.5):

$$M = \frac{R_0}{R} = \frac{8314,51 \frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}}{277,15 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}} = 30,00 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \quad \mathbf{5 \text{ Pkte}}$$

b) Substanzmenge

Gemäß Gl. (1.3) folgt:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{4,5 \text{ kg}}{30,00 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 0,150 \text{ kmol} \quad \mathbf{5 \text{ Pkte}}$$

c) Druck p_1

Über das ideale Gasgesetz (Gl. (3.4)) ergibt sich:

$$p = \frac{m \cdot R \cdot T}{V} = \frac{4,5 \text{ kg} \cdot 277,15 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 293 \text{ K}}{75 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 4,872 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 48,72 \text{ bar} \quad \mathbf{5 \text{ Pkte}}$$

d) Molvolumen

Das Molvolumen ist das aktuelle Volumen bezogen auf die Substanzmenge:

$$\bar{v} = \frac{V}{n} = \frac{75 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{0,150 \text{ kmol}} = 0,500 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} \quad \mathbf{5 \text{ Pkte}}$$

e) Temperatur T_2 Gesucht ist die Temperatur T_2 , bei der der Grenzdruck $p_2 = 100 \text{ bar}$ erreicht wird (bei $V_2 = V_1$). Mit dem idealen Gasgesetz (Gl. (3.4)) folgt:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \quad \Rightarrow \quad T_2 = T_1 \cdot \frac{p_2}{p_1} = 293 \text{ K} \cdot \frac{100 \text{ bar}}{48,72 \text{ bar}} = 601,4 \text{ K} = 328,4 \text{ °C} \quad \mathbf{5 \text{ Pkte}}$$

Lösung 2

vgl. SB 3; Kap. 1.3

16 Punkte

Die Flächen von Trenn- und Außenwand sind gleich groß. Daraus folgt für die Wärmeaustauschkonstante C_{12} gemäß SB 3, S. 18:

$$C_{12} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad \text{3 Pkte}$$

Ablesen von $\sigma = 5,67 \text{ W / (m}^2 \text{ K}^4)$ sowie $\varepsilon_1 = 0,039$ und $\varepsilon_2 = 0,947$ aus Tab. 1.6 **4 Pkte**

Damit ergibt sich:

$$C_{12} = \frac{5,67}{\frac{1}{0,039} + \frac{1}{0,947} - 1} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right] = 0,22065 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right] \quad \text{4 Pkte}$$

\dot{Q} ergibt sich aus Gl. 1.18b mit

$$A = b \cdot h = 40\text{m} \cdot 8\text{m} = 320\text{m} \quad \text{1 Pkt}$$

$$\dot{Q} = C_{12} \cdot A \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] = 0,22065 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot 320\text{m}^2 \cdot \left[(6,23)^4 - (3,03)^4 \right] \text{K}^4 = 100,4 \text{ kW} \quad \text{4 Pkte}$$

Lösung 3

vgl. SB 4 Kap. 1 und 2

31 Punkte**a) Druckverlust im Rohr****(18 Pkte)**

Zunächst wird mittels der Kontinuitätsgleichung (Gl. (2.1)) und der Dichtedefinition sowie der Flächenformel die Geschwindigkeit berechnet:

$$c = \frac{\dot{V}}{A} \quad \text{3 Pkte}$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = 0,01766\text{m}^2 \quad \text{3 Pkte}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\dot{m}}{\dot{V}} \Rightarrow c = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A}$$

$$c_R = \frac{15 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,01766\text{m}^2} = 0,849 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{3 Pkte}$$

Für den Druckverlust wird die Reynoldszahl benötigt (Gl. (1.3)):

$$\text{Re} = \frac{c \cdot d}{\nu} = \frac{0,849 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,15 \text{ m}}{1,006 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 1,27 \cdot 10^5 \quad \text{2 Pkte}$$

Ablezen der Wandrauhigkeit aus Tab. 2.1

$K = 1,5 \text{ mm}$

1 Pkt

Mit der Wandrauhigkeit $k = 1,5 \text{ mm}$ folgt aus Diagramm 2.9 die Rohrreibungszahl λ :

$$\frac{d}{k} = \frac{150 \text{ mm}}{1,5 \text{ mm}} = 100$$

2 Pkte

$$\Rightarrow \lambda = 0,038$$

3 Pkte

Der gesuchte Druckverlust ergibt sich mit Gl. (2.14):

$$\Delta p_{VR} = \frac{\lambda \cdot l \cdot \rho \cdot c^2}{d \cdot 2} = \frac{0,038 \cdot 25 \text{ m} \cdot 1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,849^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{0,15 \text{ m} \cdot 2} = 2,28 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \approx 0,023 \text{ bar}$$

4 Pkte

b) Analoge Berechnung des Druckverlustes im Schlauch

(10 Pkte)

Ablezen von $k = 0,0016 \text{ mm}$ aus Tab. 2.1

1 Pkt

$$\text{Berechnen von } A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = 0,00196 \text{ m}^2$$

1 Pkt

$$c_S = \frac{15 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,00196 \text{ m}^2} = 7,64 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

1 Pkt

$$\text{Re} = \frac{7,64 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,05 \text{ m}}{1,006 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 3,80 \cdot 10^5$$

2 Pkte

Ablezen der Wandrauhigkeit aus Tab. 2.1

1 Pkt

$k = 0,0016 \text{ mm}$

Mit der Wandrauhigkeit $k = 0,0016 \text{ mm}$ folgt aus Diagramm 2.9 die Rohrreibungszahl λ :

$$\frac{d}{k} = \frac{50 \text{ mm}}{0,0016 \text{ mm}} = 31250$$

1 Pkt

$$\Rightarrow \lambda = 0,014$$

1 Pkte

$$\Delta p_{VS} = \frac{0,014 \cdot 50 \text{ m} \cdot 1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 7,64^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{0,05 \text{ m} \cdot 2} = 4,09 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \approx 4,1 \text{ bar}$$

2 Pkte

c) Vergleich der Ergebnisse

(3 Pkte)

Der Vergleich zeigt, dass der Druckverlust im Rohr vernachlässigbar klein ist, während im Schlauch ein Druckverlust entsteht, der von einer praktisch bedeutsamen Größe ist. Der Einsatz der Schlauchleitung führt zu einer Erhöhung der erforderlichen Pumpenleistung und damit zu erhöhtem Energieverbrauch.

3 Pkte

Lösung 4 **vgl. SB 1, Kap. 3 und 4, SB 2, Kap. 4** **28 Punkte**

a) Berechnung der thermodynamischen Größen (20 Pkte)

1: $p_1 = 5,0 \text{ bar}$, $V_1 = 0,50 \text{ m}^3$, $T_1 = 25 \text{ °C} = 298 \text{ K}$

2: Berechnung für adiabatisch reversible Änderung gemäß Tab. 4.1 mit $V_2 = 1 \text{ m}^3$:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} = 298 \text{ K} \cdot \left(\frac{0,5 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} \right)^{1,4-1} = 225,8 \text{ K} = -47,2 \text{ °C}$$

5 Pkte

$$p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa} = 5 \text{ bar} \cdot \left(\frac{0,5 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} \right)^{1,4} = 1,895 \text{ bar}$$

5 Pkte

3: isochore Änderung mit idealem Gasgesetz (Gl. (3.4))

mit $V_3 = V_2 = 1,0 \text{ m}^3$ und $T_3 = T_1 = 298 \text{ K} = 25 \text{ °C}$:

$$\frac{p_3}{T_3} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow p_3 = p_2 \cdot \frac{T_3}{T_2} = 1,895 \text{ bar} \cdot \frac{298 \text{ K}}{225,8 \text{ K}} = 2,50 \text{ bar}$$

5 Pkte

4: isotherme Änderung ebenfalls mit idealem Gasgesetz (Gl. (3.4))

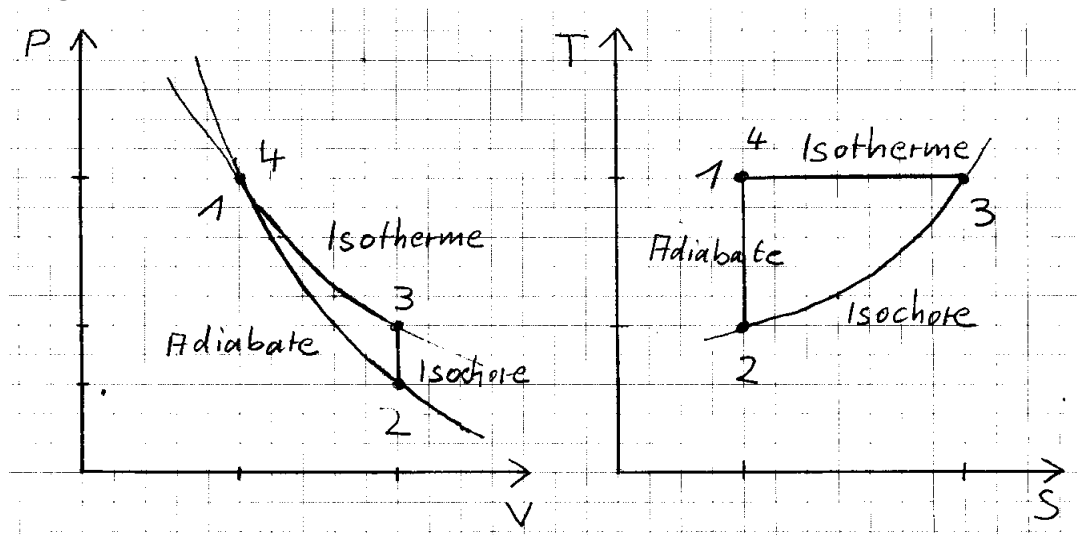
mit $V_4 = V_1 = 0,50 \text{ m}^3$ und $T_4 = T_3 = 298 \text{ K} = 25 \text{ °C}$:

$$p_4 \cdot V_4 = p_3 \cdot V_3 \Rightarrow p_4 = p_3 \cdot \frac{V_3}{V_4} = 2,50 \text{ bar} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{0,5 \text{ m}^3} = 5,0 \text{ bar}$$

5 Pkte

man erkennt: Zustand 4 = Zustand 1 .

b) Diagramme (8 Pkte)



8 Pkte