

Fachhochschule Koblenz  
 Fachbereich Maschinenbau

Name:  
 Matr.-Nr.:

Datum: 06.07.2000  
 10.00 Uhr  
 Semester:

**Diplomvorprüfung Thermodynamik I SS 2000** nach (neuer) Prüfungsordnung vom 22.05.1998  
 Klausur Wärmelehre I nach (alter) Prüfungsordnung vom 28.09.1981  
 Prof.Dr.-Ing.W.Nieratschker

Note	Aufgabe 1	2	3	4	5	6	7	Summe
	Punkte							
<i>Hinweise: Tragen Sie auf jedes Blatt oben Name und Matrikelnummer ein! Nur Vorderseiten beschriften!</i>								
Aufgaben	Bearbeitungszeit	zugelassene Hilfsmittel						
Teil I: 1-4	35 min	keine; Abgabe frühestens nach 25 spätestens nach 45 min						
Teil II: 5 -7	55 min	Taschenrechner, Formelsammlungen,ausgeteilte Diagramme						
Gesamtzeit	90 min	Tabellen; keine Beispielaufgaben!						

Aufgabe 1

Definieren Sie die folgenden Begriffe:

- a) Diatherme Wand 1
  - b) Abgeschlossenes System 1
  - c) Thermisches Gleichgewicht 1
  - d) Thermodynamisches Gleichgewicht 1
  - e) kalorische Zustandsgrößen (2 Beispiele je mit Einheit) 2
  - f) Prozeßgrößen (2 Beispiele je mit Einheit) 2
- 8P**

Aufgabe 2

Welche spezifischen Wärmekapazitäten sind von besonderer Bedeutung und wie hängen diese

- a) bei idealen Gasen und 2
  - b) bei festen und flüssigen Körpern zusammen? 2
- 4P**

Aufgabe 3

- a) Formulieren Sie den ersten Hauptsatz für geschlossene Systeme! 2
  - b) Formulieren Sie den ersten Hauptsatz für offene Systeme! 2
  - c) Wie ändert sich die innere Energie bei isochoren Zustandsänderungen?  
 Wenden Sie den ersten Hauptsatz an! 2
  - d) Wie ändert sich die Enthalpie bei isobaren Zustandsänderungen?  
 Wenden Sie den ersten Hauptsatz an! 2
  - e) Wie groß ist die technische Arbeit bei isothermen Zustandsänderungen idealer Gase? 2
- 10P**

Aufgabe 4

Wie sind die folgenden Begriffe definiert?

- a) Raumanteil  $r_i$  2
  - b) Massenanteil  $\xi_i$  und 2
  - c) Molanteil  $\psi_i$  2
- Bitte in Worten definieren! **6P**

Summe Teil I: 28 Punkte

Name:  
Matrikelnummer:

### Aufgabe 5

In einem 10 [l] großen adiabaten Zylinder wird Luft im Zustand 1 ( $p = 1$  [bar];  
 $t = 15$  [°C]) durch einen Kolben zunächst auf den Zustand 2 mit dem Volumen  $V_2 = 1$  [l]  
komprimiert. Die Luft kann hierbei als ideales Gas betrachtet werden. Bei stillstehendem Kolben wird  
die Luft danach wieder auf die Ausgangstemperatur von  $t_3 = 15$  [°C] heruntergekühlt und  
anschließend bis auf  $V_4 = 0,1$  [l] weiter adiabatisch reversibel verdichtet.

- a) Stellen Sie die Folge der beschriebenen Zustandsänderungen im  $p, V$  - Diagramm dar! 2
- b) Welche Volumenänderungsarbeit in [kJ] ist für jede Teilverdichtung erforderlich? 4
- c) Geben Sie für die Zustände 2, 3 und 4 jeweils die fehlenden thermischen Zustandsgrößen  $p$  in [bar],  $V$  in [l] und  $t$  in [K] an! 18
- d) Wieviel Wärme ist bei der Zwischenkühlung abzuführen? 2
- e) Wie ändern sich bei der Zwischenkühlung die innere Energie und Enthalpie der Luft? 4

30P

### Aufgabe 6

5 kg Helium expandieren in einem geschlossenen System von  $p = 10$  [bar] und  $t = 400$  [°C] reversibel  
auf  
2 [bar] und 120 [°C].

- a.) Mit welchem Polytropenexponenten verläuft die Expansion? 3
- b.) Welche Volumenänderungsarbeit wird verrichtet? 2
- c.) Wieviel Wärme wird zu- oder abgeführt? 2
- d.) Wie ändern sich innere Energie und Enthalpie? 4

11P

### Aufgabe 7

5,0 [kg] Methan von 0 [°C] und 0,1013 [MPa] werden mit 3 Normkubikmeter Luft (21 Vol O<sub>2</sub> und 79  
Vol.-% N<sub>2</sub>) gemischt.

Gesucht sind:

- a) die Massenanteile in der Mischung, 6
- b) die Gaskonstante der Mischung, sowie 2
- c) die Raumanteile in der Mischung 3

11P

Summe Teil II: 52  
ges. Punktzahl: 80



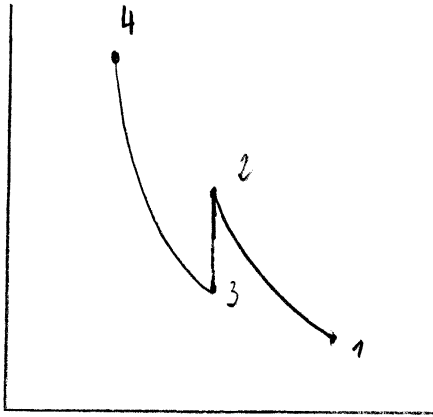
Prof. Dr.-Ing. W. Nieratschker

Donnerstag, 10. Februar 2000

A5.

Luft,  $P_1 = 1 \text{ bar}$ ;  $t_1 = 15^\circ\text{C}$ ;  $T_1 = 288,2 \text{ K}$ ;  $V_1 = 10 \text{ L}$   
 $V_2 = 1 \text{ L}$

a) p



$$W_{12} = \frac{P_1 V_1}{k-1} \left[ \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} - 1 \right] V_3 = 0,1 \text{ L}$$

$$= \frac{10^5 \cdot 10^{-2}}{0,4} \left[ \left( \frac{1}{0,1} \right)^{0,4} - 1 \right] \frac{\text{N} \cdot \text{m}^3}{\text{m}^2}$$

$$= 3,78 \text{ kJ}$$

$$W_{34} = \frac{P_3 V_3}{k-1} \left[ \left( \frac{V_4}{V_3} \right)^{k-1} - 1 \right]$$

V

Da  $T_3 = T_1$  gilt zwischen den Zuständen auch:

$$P_1 V_1 = P_3 V_3; \text{ außerdem ist } \frac{V_4}{V_3} = \frac{V_2}{V_1} = 10,$$

so dass  $W_{34} = W_{12} = 3,78 \text{ kJ}$

c)

$$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^k \rightarrow P_2 = P_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^k$$

$$P_2 = 1 \cdot \left( \frac{10}{1} \right)^k \text{ bar} = 25,1 \text{ bar}$$

$$\frac{P_3}{P_1} = \frac{V_1}{V_3} \rightarrow P_3 = P_1 \cdot \frac{V_1}{V_3} = 1 \cdot \frac{10}{1} \text{ bar} = 10,0 \text{ bar}$$

$$\frac{P_4}{P_3} = \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^k \rightarrow P_4 = P_3 \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^k = 10 \cdot \left( \frac{1}{0,1} \right)^k \text{ bar} = 25,1 \text{ bar}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} \rightarrow T_2 = T_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} = 288,2 \cdot 10^{0,4} = 723,9 \text{ K}$$

$$T_4 = T_3 \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} = T_2 = 723,9 \text{ K}$$

$$m = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{10^5 \cdot 10^{-2}}{287,1 \cdot 288,2} \quad \frac{\text{N} \cdot \text{m}^3 \text{ kg} \cdot \text{K}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2 \cdot \text{K}} = 0,0121 \text{ kg}$$

$$V_1 = \frac{V_1}{m} = \frac{10^{-2}}{0,0121} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 0,827 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V_2 = \frac{V_2}{m} = 0,0827 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V_3 = \frac{V_3}{m} = 0,00827 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Fortl. Aufg. 5

d.)

$$\begin{aligned} Q_{23} &= m \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2) \\ &= m \cdot \frac{1}{\gamma - 1} \cdot R \cdot (T_3 - T_2) \\ &= 0,0121 \cdot \frac{1}{1,4} \cdot 287,1 \cdot (246,2 - 723,9) \text{ kg} \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\ &= -3,78 \text{ kJ} \end{aligned}$$

e.)  $u_3 - u_2 = Q_{23} + \overset{0}{W_{23}}$ , da isochor

$$u_3 - u_2 = Q_{23} = -3,78 \text{ kJ}$$

$$\begin{aligned} h_3 - h_2 &= Q_{23} + W_{23} = Q_{23} + \overset{3}{\int_2^3} V dp \quad \text{da isochor.} = Q_{23} + \overset{3}{V_2} \int_2^3 dp \\ &= Q_{23} + V_2 (p_3 - p_2) = -3,78 + 10^{-3} \text{ m}^3 (10 - 25,1) \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \\ &= -5,29 \text{ kJ} \end{aligned}$$

16:

$$m_{He} = 5 \text{ kg} ; p_1 = 10 \text{ bar} ; T_1 = 400^\circ \text{C} \Rightarrow T_1 = 673,2 \text{ K}$$

$$p_2 = 2 \text{ bar} ; T_2 = 120^\circ \text{C} \Rightarrow T_2 = 393,2 \text{ K}$$

a) polyt. Exp.

$$\frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{n}{n-1}} \quad \rightarrow \quad \ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{n}{n-1} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{n-1}{n} = \frac{\ln \frac{T_2}{T_1}}{\ln \frac{p_2}{p_1}} \quad \rightarrow \quad 1 - \frac{1}{n} = A \quad \rightarrow \quad \frac{1}{n} = 1 - A$$

$$n = \frac{1}{1 - \frac{\ln \frac{T_2}{T_1}}{\ln \frac{p_2}{p_1}}} = \frac{1}{1 - \frac{\ln \frac{393,2}{673,2}}{\ln \frac{2}{10}}} = 1,502$$

b)  $W_{12} = \frac{m \cdot R \cdot T_1}{n-1} \left[ \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{n}{n-1}} - 1 \right]$  mit  $R = R_{He} = 2,0772 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$$W_{12} = \frac{5 \cdot 2,0772 \cdot 673,2}{1,502 - 1} \left[ \left( \frac{393,2}{673,2} \right)^{\frac{1,502}{1,502 - 1}} - 1 \right] \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{kJ} \cdot \text{K}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] = -5,79 \text{ MJ}$$

c)  $Q_{12} = m \cdot c_v \frac{n-K}{n-1} (T_2 - T_1) = m \cdot \frac{R}{K-1} \cdot \frac{n-K}{n-1} (T_2 - T_1)$

$$= 5 \cdot \frac{2,0772}{1,66 - 1} \cdot \frac{1,502 - 1,66}{1,502 - 1} (120 - 400) \left[ \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \text{K}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

$$= 5 \cdot 3,147 \cdot (-0,3142) \cdot (-280) = 1,39 \text{ MJ}$$

d)  $U_2 - U_1 = Q_{12} + W_{12} = -5,79 - 1,39 \text{ MJ} = -4,4 \text{ MJ}$  oder

$$U_2 - U_1 = m \cdot c_v (T_2 - T_1) = -4,4 \text{ MJ}$$

e)  $H_2 - H_1 = m \cdot c_p (T_2 - T_1) = K \cdot (U_2 - U_1) = 1,66 \cdot (-4,4 \text{ MJ}) = -7,3 \text{ MJ}$

A 7) 5 kg  $\text{CH}_4$  unter Normbedingungen + Luft mit  $V_2 = 3 \text{ m}^3$

$$a) \quad m_L = \frac{p_n \cdot V_n}{R \cdot T_n} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 3}{287,1 \cdot 273,2} \text{ [kg]} = 3,875 \text{ kg}$$

$$p_{O_2} = \gamma_{O_2} \cdot p_{\text{Ges}} = 0,21 \cdot 1,013 \text{ bar} = 0,213 \text{ bar}$$

$$p_{N_2} = \gamma_{N_2} \cdot p_{\text{Ges}} = 0,79 \cdot 1,013 \text{ bar} = 0,8003 \text{ bar}$$

$$m_{O_2} = \frac{p_{O_2} \cdot V_n}{R_{O_2} \cdot T_n} = \frac{0,213 \cdot 3 \cdot 10^5}{289,4 \cdot 273,2} = 2,912 \text{ kg}$$

$$m_{N_2} = \frac{p_{N_2} \cdot V_n}{R_{N_2} \cdot T_n} = \frac{0,8003 \cdot 3 \cdot 10^5}{286,1 \cdot 273,2} = 2,960 \text{ kg}$$

$$m_G = m_{\text{CH}_4} + m_{O_2} + m_{N_2} = 8,875 \text{ kg}$$

$$\xi_{\text{CH}_4} = \frac{m_{\text{CH}_4}}{m_G} = \frac{5}{8,875} = 0,564$$

$$\xi_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{m_G} = 0,102 \quad ; \quad \xi_{N_2} = 0,335$$

$$b) \quad R_u = \xi_{\text{CH}_4} R_{\text{CH}_4} + \xi_{O_2} R_{O_2} + \xi_{N_2} R_{N_2}$$

$$= 0,563 \cdot 0,5184 + 0,102 \cdot 0,2894 + 0,335 \cdot 0,2868 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$R_u = 0,418 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$c) \quad \gamma_i = \xi_i \cdot \frac{R_i}{R_u} \quad \rightarrow \quad \gamma_{\text{CH}_4} = \xi_{\text{CH}_4} \cdot \frac{R_{\text{CH}_4}}{R_u} = 0,564 \cdot \frac{0,5184}{0,418}$$

$$\gamma_{\text{CH}_4} = 0,700$$

$$\gamma_{O_2} = 0,063$$

$$\gamma_{N_2} = 0,237$$