

Fachhochschule Koblenz  
 Fachbereich Maschinenbau  
 Klausur Thermodynamik WS 1996/97  
 Prof.Dr.-Ing.W.Nieratschker

Name:  
 Matr.-Nr.: Semester:  
 3 Aufgabenblätter + 1 Anlage  
 Datum:30.01.1997

Note	Aufgabe 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summe
	Punkte										

**Hinweise:** Tragen Sie auf jedes Blatt oben Name und Matrikelnummer ein!

Aufgaben	Bearbeitungszeit	zugelassene Hilfsmittel
Teil I: 1-7	45 min	keine; Abgabe nach frühestens 30, spätestens 60 min
Teil II: 8-10	45 min	Taschenrechner, Geodreieck, Formelsammlungen, ausgeteilte Diagramme und Tabellen; keine Beispielaufgaben! Verwenden Sie für jede Aufgabe in Teil II ein neues Blatt!

### Aufgabe 1

Das Verhalten realer Gase nähert sich der idealen Gasgleichung umso mehr,

- a) je niedriger der Druck ist.                      b) je höher der Druck ist.  
 c) je niedriger die Temperatur ist.                d) je höher die Temperatur ist.  
 (Mehrfachnennungen sind möglich!)

### Aufgabe 2

Welche Konstanten führte Van-der-Waals in seine thermische Zustandsgleichung ein? Erläutern Sie ihre physikalische Bedeutung!

### Aufgabe 3

Zeichnen Sie für ein beliebiges Fluid ein p,v- Diagramm mit folgenden Kurven (mit Kennzeichnung):

- a) Siedelinie -und Taulinie    b) Isotherme mit  $T > T_{krit}$     c) Isotherme mit  $T < T_{krit}$   
 d) Isotherme mit  $T = T_{krit}$     e) Welche beiden Gleichungen lassen sich zusätzlich zum Ansatz von Van-der-Waals für alle Fluide aufstellen, um die beiden stoffspezifischen Konstanten zu bestimmen?

### Aufgabe 4

- a) Benennen Sie für den Dampfkraftprozess beispielhaft zwei Maßnahmen zur Wirkungsgradverbesserung!  
 b) Erläutern Sie die beiden Maßnahmen durch je ein Anlagenschema! (einfache Ausführung genügt!)  
 c) Stellen Sie die beiden Maßnahmen in je einem T,s-Diagramm dar!

### Aufgabe 5

Welche Kurve wird durch die Clausius-Clapeyronsche Gleichung näherungsweise beschrieben? Zeichnen Sie die Kurve qualitativ ins entsprechende Diagramm und geben Sie Anfangs- und Endpunkt an!

### Aufgabe 6

- a) Von welchem/n Parameter/n hängt der Sättigungsdruck  $p_s$  bei feuchter Luft ab?  
 b) Ist feuchte Luft schwerer, gleich schwer oder leichter als trockene Luft?

### Aufgabe 7

- a) Können innere Energien und Enthalpien vollständig in Exergie umgewandelt werden?  
 b) Welche der nachfolgenden Energiearten können vollständig in Exergie umgewandelt werden?  
 - technische Arbeit    - Wärme    - Volumenänderungsarbeit

Name:  
Matrikelnummer:

### Aufgabe 8

Braunkohlenbrikett setzt sich zusammen aus 46% Kohlenstoff, 0,7% Schwefel, 4,6% Wasserstoff, 1% Stickstoff, 19,4 % Sauerstoff, 18% Wasser sowie 10,3 % Asche. Der Brennstoff wird mit einem Luftverhältnis von  $\lambda = 1,4$  vollkommen verbrannt.

Man berechne:

- |  |  |
|--|--|
| a) den Heizwert $h_u$ ,  | 3  |
| b) den spezifischen Mindestsauerstoffbedarf in $[m^3_n/kg]$ ,          | 2  |
| c) den spezifischen Mindestluftbedarf in $[m^3_n/kg]$ ,                | 2  |
| d) das feuchte spezifische Rauchgasvolumen in $[m^3_n/kg]$ ,           | 3  |
| e) das Wasserdampfvolumen in $[m^3_n/kg]$ ,                            | 2  |
| f) das trockene spezifische Rauchgasvolumen in $[m^3_n/kg]$ ,          | 2  |
| g) den wirklichen spezifischen Luftbedarf in $[m^3_n/kg]$ , sowie      | 2  |
| h) die Rauchgasmasse in $[kg \text{ Rauchgas}/kg \text{ Brennstoff}]!$ | 2  |
|  | <hr style="width: 100px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/> Σ 18 P |

### Aufgabe 9

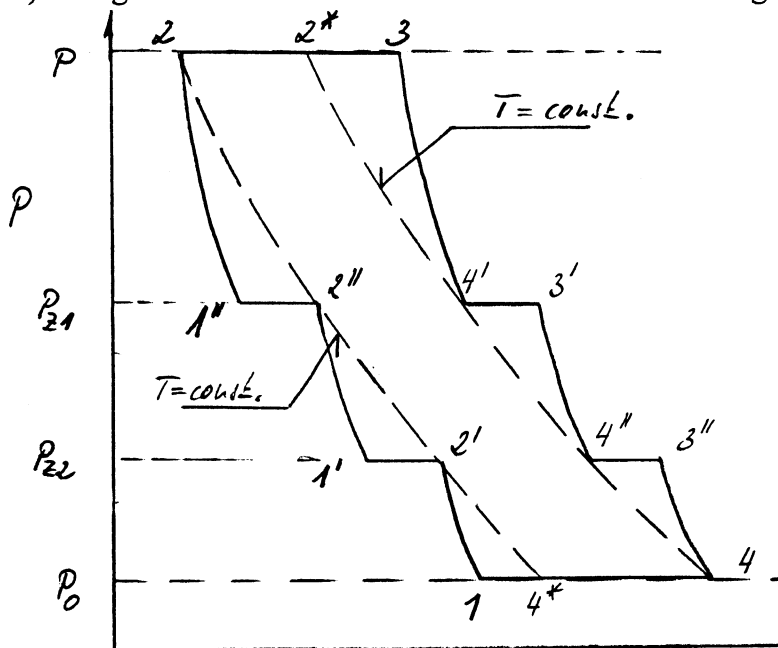
200 [kg] feuchte Luft ( $t_1 = -5 [^\circ C]$ ;  $\phi_1 = 0,6$ ;  $p_{S(-5^\circ C)} = 0,00401 [bar]$ ) vom Gesamtdruck 1 bar wird mit Luft vom Zustand  $t_2 = 20 [^\circ C]$  und  $\phi_2 = 0,9$  gemischt. Mit dem Mengenverhältnis  $m_1 : m_2 = 1 : 2$  ist die Mischung vom Zustand 3 definiert. Durch Wärmezufuhr zum Zustand 4 wird der Nebel gerade beseitigt.

- |  |  |
|--|--|
| a) Stellen Sie die Zustandspunkte und Zustandsänderungen schematisch im h,x - Diagramm dar.<br>Berechnen Sie:  | 4  |
| b) den Wassergehalt [g/kg] der Ausgangsluftmengen und  | 4  |
| c) den Wassergehalt [g/kg] des Gemisches vor der Beheizung (Punkt 3)!  | 3  |
| d) Ermitteln Sie den Wassergehalt [g/kg], die Enthalpie [kJ/kg] und die Temperatur [°C] des Gemisches nach der Beheizung (Punkt 4) durch Ablesen im beiliegenden Diagramm! | 5  |
| e) Ermitteln Sie die die je kg trockene Luft zur Entnebelung benötigte Wärme in [kJ/kg]!   | 2  |
| f) Berechnen Sie die Dichte der feuchten Luft nach Beheizung in $[kg/m^3]$ und vergleichen Sie sie mit der Dichte der trockenen Luft bei der gleichen Temperatur!          | 2  |
|  | <hr style="width: 100px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/> Σ 20 P |

### Aufgabe 10

Eine Gasturbinenanlage arbeitet nach dem geschlossenen Joule-Prozeß mit jeweils dreistufiger Verdichtung und Expansion. Der Kreisprozeß ist schematisch in nachstehendem  $p, V$ - Diagramm dargestellt. **Die Druckverhältnisse der einzelnen Stufen sind gleich.** Das Arbeitsmittel ist Stickstoff ( $R_{N_2} = 0,297 [\text{kJ/kgK}]$ ;  $\kappa = 1,4$ ;  $c_p = 1,04 [\text{kJ/kgK}]$ ). Der Prozeß verläuft zwischen den Temperaturen  $T_3 = T_3' = T_3'' = 1120 [\text{K}]$  und  $T_1 = T_1' = T_1'' = 320 [\text{K}]$ , sowie den Drücken  $p = 8 [\text{bar}]$  und  $p_0 = 1 [\text{bar}]$ .

- Übertragen Sie den Prozeß ins  $T, s$ -Diagramm. Zeichnen Sie dabei die zu- bzw. abzuführenden Wärmemengen  $q_{zu}$  und  $q_{ab}$  als Flächen ein! 6
- Wie groß sind die Zwischendrücke  $p_{z1}$  und  $p_{z2}$ ? 3
- Welche Temperaturen herrschen am Austritt der Verdichterstufen? Welche Temperaturen herrschen am Austritt der Turbinenstufen? 3
- Welche Wärmemenge  $q_i$  kann pro kg Arbeitsmittel durch inneren Wärmeaustausch übertragen werden? 3
- Wie groß sind die zu- bzw. abzuführenden Wärmemengen  $q_{zu}$  bzw.  $q_{ab}$  pro kg Arbeitsmittel? 3

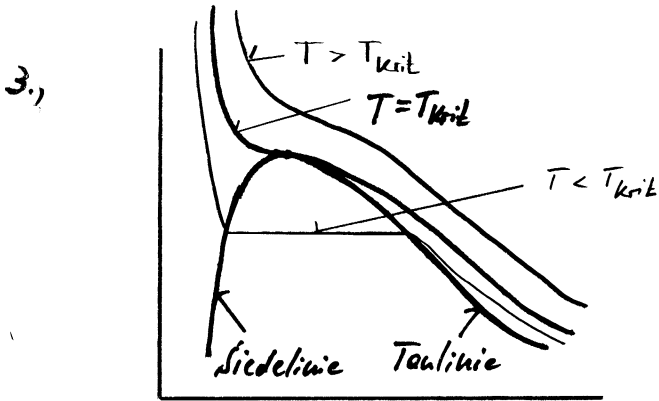


# Musterlösungen:

1.) a.) d.)

2.)  $a :=$  Kohäsionskräfte zwischen den Molekülen

$b :=$  Eigenvolumen der Moleküle

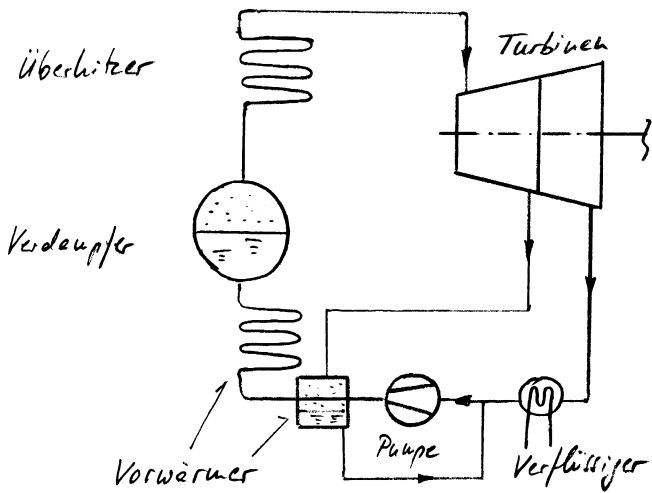


e.) für die kritische Isotherme können folgende Gleichungen aufgestellt werden:

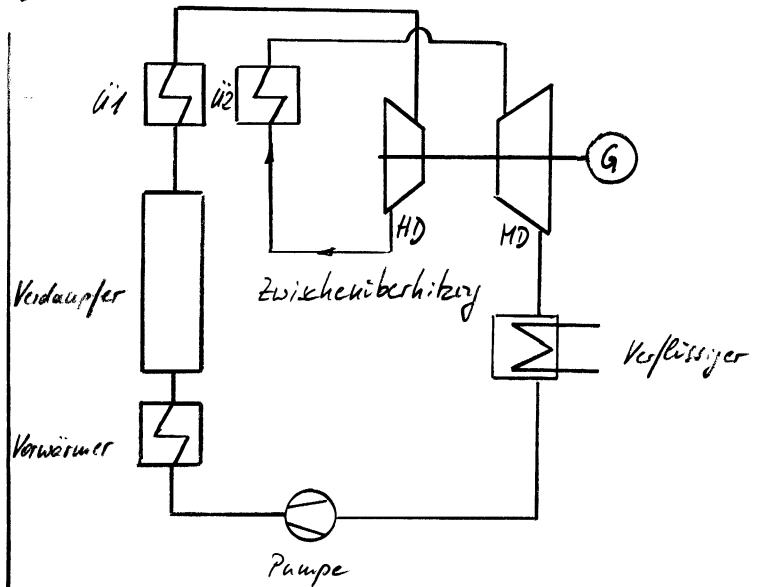
$$\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T = 0 \quad ; \quad \left(\frac{\partial^2 p}{\partial v^2}\right)_T = 0$$

4.) a.) regenerative Speisewasservorwärmung ; Zwischenüberhitzung

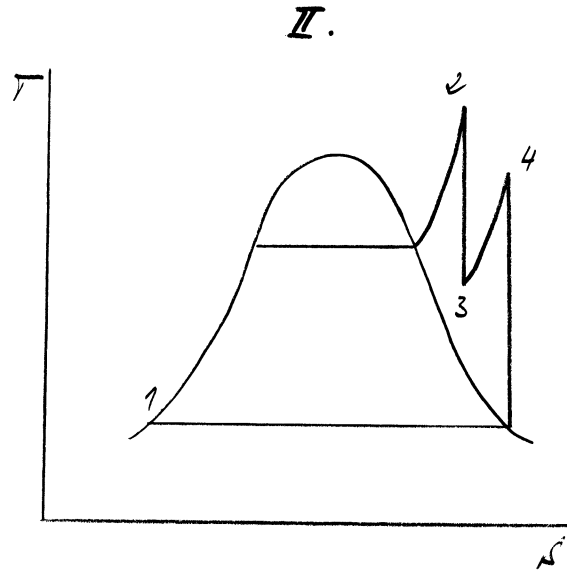
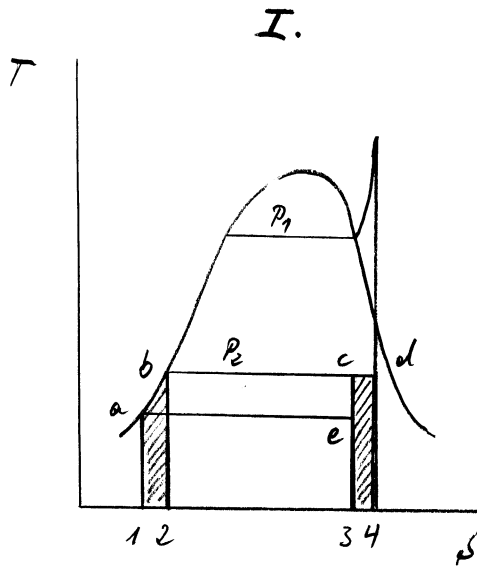
b.)



einstufige Speisewasservorwärmung



einfache Zwischenüberhitzung



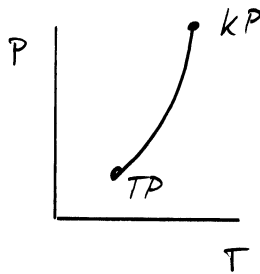
I. Speisewassererwärmung:

Teilmassenstrom wird bei  $p_2$  kondensiert. Die Fläche (cd43c) entspricht der Wärme, die zur Erwärmung des Speisewassers von a auf b zurückgeführt wird.

II. Zwischenüberhitzung:

Nach Teilerpansion des Frischdampfes in der Hochdruckturbinen wird der Dampf erneut in den Dampferzeuger geleitet und auf die Temperatur  $T_4$  überhitzt.

5.) Dampfdruckkurve



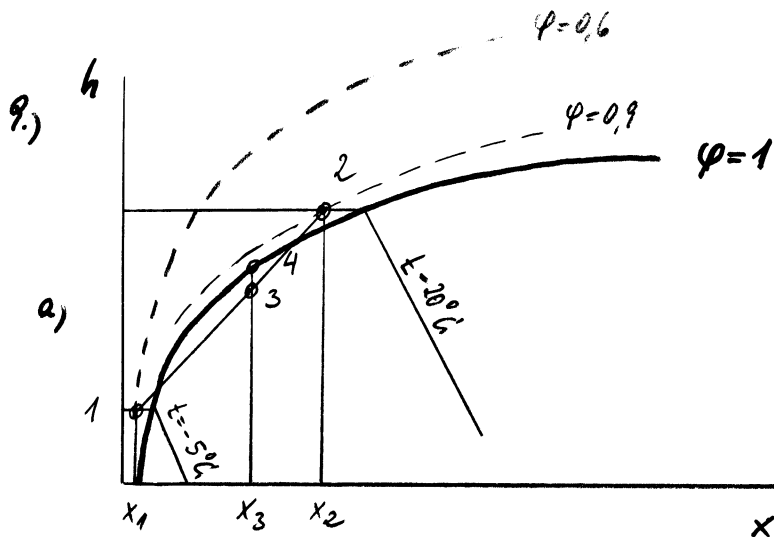
TP = Tripelpunkt

KP = Kritischer Punkt

- 6.) a) nur von der Temperatur  
b) geringer

- 7.) a) nein!  
b) technische Arbeit, Volumenänderungsarbeit

8.)



b) (1)  $x_1 = 0,622 \cdot \frac{P_{W1}}{P - P_{W1}}$

(2)  $P_{W1} = \varphi_1 P_{S(1-50\%)} = 0,6 \cdot 0,00401 \text{ bar} = 0,002406 \text{ bar}$

(2) in (1)  $x_1 = 1,50 \frac{\text{gW}}{\text{kgL}}$

(3)  $x_2 = 0,622 \frac{P_{W2}}{P - P_{W2}}$

(4)  $P_{W2} = \varphi_2 P_{S(20\%)} = 0,02337 \text{ bar}$

(4) in (3)  $x_2 = 13,4 \frac{\text{gW}}{\text{kgL}}$

c) (5)  $\frac{m_2}{m_1} = \frac{x_1 - x_M}{x_2 - x_M}$

(6)  $\frac{m_2}{m_1} = 2$

(7)  $x_M = x_3$

(7) (6) in (5)  $x_3 = 9,43 \frac{\text{gW}}{\text{kgL}}$

d)  $x_4 = x_3 = 9,43 \frac{\text{gW}}{\text{kgL}} ; t_4 = 12,7 \frac{\text{g}}{\text{g}} ; m_4 = 35,5 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$

e) (8)  $f_{S4} = m_4 - h_3$  (9)  $h_3 = 33,3 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$

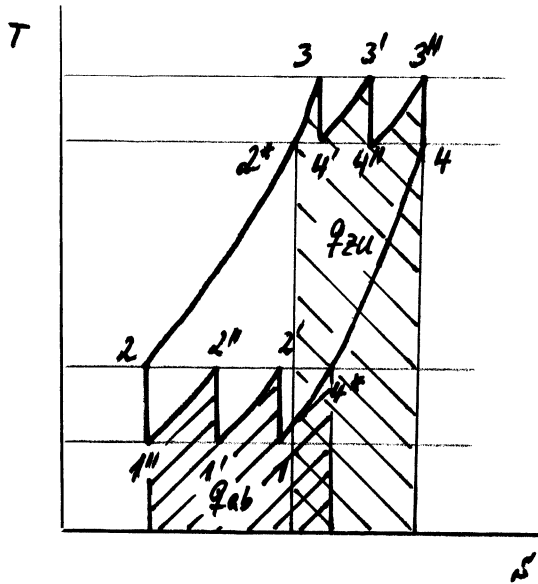
(11) in (8)  $f_{S4} = 2,2 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$

f)  $S_4 = \frac{P_{S4}}{k_2 \cdot \bar{V}_4} \cdot \frac{x_4 + 1}{1 + 1,61x_4} = 1,21 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$S_4 \text{ feuchte} < S_4 \text{ trocken}$  (Faktor 0,994)



10.)



a)

b) (1)  $P_{21} = P_{11} = P_{21}$  ; (2)  $P_{22} = P_{11} = P_{21}$  ; (3)  $\frac{P_2}{P_1} = 8$

(4)  $\frac{P_2}{P_2''} = \frac{P_2''}{P_2'} = \frac{P_2'}{P_1}$  ; (5)  $\frac{P_2}{P_2''} \cdot \frac{P_2''}{P_2'} \cdot \frac{P_2'}{P_1} \stackrel{(3)}{=} 8$

(4) & (5)  $\left(\frac{P_2'}{P_1}\right)^3 = 8 \rightarrow \underline{\underline{P_{22}^{(2)} = P_{21} = 2 \cdot P_1 = 2 \text{ bar}}}$   
 $\rightarrow \underline{\underline{P_{21}^{(1)} = P_2'' = 2 \cdot P_2' = 4 \text{ bar}}}$

c)  $\frac{T_2'}{T_1} = \left(\frac{P_2'}{P_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \rightarrow \underline{\underline{T_2' = 320 \cdot 2^{\frac{0,4}{1,4}} \text{ K} = 390,1 \text{ K}}}$

$\frac{T_3}{T_4'} = \left(\frac{P_3}{P_4'}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \rightarrow \underline{\underline{T_4' = 1120 \cdot \frac{1}{2^{\frac{0,4}{1,4}}} \text{ K} = 918,8 \text{ K}}}$

d)  $q_i = c_p (T_4 - T_4^*) = c_p (T_4' - T_2') = 1,04 (918,8 - 390,1) \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

$q_i = 549,8 \text{ kJ/kg}$

e)  $q_{43} = q_{431} + q_{211} + q_{2111} = c_p (T_4 - T_4^*) + c_p (T_{41} - T_{21}) + c_p (T_{41} - T_{21})$

$q_{43} = 3 \cdot c_p (T_4 - T_2') = 3 \cdot 1,04 \cdot (320 - 390,1) \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} = -218,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$q_{21} = q_{213} + q_{4131} + q_{41311} = c_p (T_3 - T_2^*) + c_p (T_{31} - T_{41}) + c_p (T_{31} - T_{41})$

$q_{21} = 3 \cdot c_p (T_3 - T_4') = 3 \cdot 1,04 \cdot (1120 - 918,8) \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} = +621,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$