

## Mischphasenthermodynamik

Prüfung

01. 04. 2014

Umfang der Aufgabenstellung : 7 nummerierte Seiten

Dauer der Prüfung : 60 min.

Alle Unterlagen zu Vorlesung und Übung sowie Lehrbücher und Taschenrechner sind als Hilfsmittel zugelassen.

Geben Sie diese Aufgabenstellung bitte zusammen mit Ihren Lösungsblättern ab. Füllen Sie die Angaben zu Ihrer Person aus und versehen Sie jedes Lösungsblatt mit Ihrem Namen.

Name: \_\_\_\_\_

Vorname: \_\_\_\_\_

Matrikelnummer: \_\_\_\_\_

**Unterschrift:** \_\_\_\_\_

### Angaben zur Korrektur

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punkte	Korrektor
1	16		
2	24		
Zwischensumme			
Zwischensumme (SÜ oder PC)			
Summe			
Bewertung			

**Zweiparametrische Kubische Zustandsgleichungen**

- a) Wie lautet der allgemeine zweiparametrische Ansatz einer kubischen Zustandsgleichung. Wie lässt sich daraus die thermische Zustandsgleichung des idealen Gases und die van-der-Waals Gleichung gewinnen, geben Sie diese an. Geben Sie die vollständige Reihenentwicklung der druckexpliziten Virialgleichung an. Bewerten Sie die Anwendbarkeit dieser, bis zum 2. Koeffizienten entwickelten, Virialgleichung für den Fall hoher Drücke und niedriger molarer Volumina. Was kann hierbei passieren? (3 P)

**Gibbssche Energie**

- b) In welchen Variablen ist die Gibbssche Energie fundamental? Geben Sie das vollständige Differenzial dieser Funktion an. Finden Sie für die partiellen Ableitungen zweckmäßigere thermodynamische Beziehungen, unter anderem, mit dem folgenden Merksatz „**U**nser **V**ater findet **t**ausend **g**rüne **P**ilze **h**interm **S**chrank“. (3 P)

**Chemisches Potential**

- c) Wie lässt sich das chemische Potential eines idealen Reinstoffs, als Funktion des Drucks berechnen, wenn man den Wert des Potentials bei einem Referenzdruck kennt? Wie gelangt man, daraus, zur Beschreibung realer Reinstoffe? Wie sieht dieser Zusammenhang für ideale und reale Mischungen aus? (4 P)

### **Isobare Verdampfungsvorgänge**

- d) Worin besteht der Unterschied zwischen einem zeotropen und einem azeotropen Gemisch? Beschreiben Sie, für das beigelegte Siedediagramm, einen vollständigen, isobaren Verdampfungsvorgang. (4 P)

### **Reale Fluide**

- e) Was ist der Realgasfaktor und wie lässt er sich berechnen? Entwickeln Sie diesen Faktor in eine Taylorreihe. Welcher Entwicklungspunkt wird hierbei stets gewählt? (2 P)

## Aufgabe 2

(24 Punkte)

Im Folgenden soll ein Partialverdampfungsprozess betrachtet werden. Hierzu werden zwei Fluide (*Reinstoffe*), in Tanks von je 100.000 dm<sup>3</sup> Fassungsvermögen, zunächst vermischt, um anschließend in einer Verdampfereinheit, nach vorgegebenem Verdampfungsgrad, thermodynamisch getrennt zu werden (*Mischung*).

**Hinweis:** Die Fluide im jeweiligen Tank befinden sich stets im thermodynamischen Gleichgewicht. Das Puffergas kann durchgehend als ideales Gas betrachtet werden

### A) Tank

1.) Die beiden Tanks sind nur zu 95% mit Flüssigkeit befüllt. Das Restvolumen wird von einem Puffergas eingenommen. Bei der Anlieferung wird in jedem Tank eine Temperatur von  $T = 17^\circ\text{C}$  und ein Druck von  $p = 25 \text{ bar}$  gemessen. Die Masse in Tank 1 soll nun abgeschätzt werden. Verwenden Sie für die Flüssigkeit die Redlich-Kwong-Soave Gleichung in folgender Form  $v^3 - r \cdot v^2 - s \cdot v - t = 0$ . Berechnen Sie nun die Koeffizienten  $r$ ,  $s$  und  $t$ . Verwenden Sie hierfür  $a = 0.958 \frac{\text{J} \cdot \text{m}^3}{\text{mol}^2}$  und  $b = 4.56 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$ . Diese kubische Gleichung besitzt die drei Lösungen  $v_1 = 0.266 \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$ ,  $v_2 = 0.0006 \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$  und  $v_3 = 0.0000531 \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$ , wobei  $v_2$  die instabile Lösung darstellt. Bestimmen Sie das molare Volumen der Flüssigkeit und berechnen Sie damit die gesuchte Masse. (8 P)

2.) Aus Kostengründen sind die Tanks nicht thermisch isoliert. Der Betriebspunkt soll nun bei  $T = 22^\circ\text{C}$  und  $p = 25 \text{ bar}$  liegen. Berechnen Sie die Volumenzunahme im Tank, als Folge der thermischen Ausdehnung der Fluide. Die Volumenänderung des Tanks selbst ist vernachlässigbar klein. Wie groß ist hierbei die Masse Puffergas die an die Umgebung abgegeben werden muss? (3 P)

## B) Mischer

In einer Vermischereinheit werden zwei Eingangsströme stationär, isotherm und isobar gemischt, dabei sind die Tanks so gestaltet, dass nur Flüssigkeit jedoch kein Puffergas in den Mischer gelangt. Die Änderung der potentiellen und kinetischen Energien können vernachlässigt werden. Berechnen Sie den abzuführenden Wärmestrom in der Vermischereinheit.

3.) Zur Lösung gehen Sie wie folgt vor. Beschreiben Sie das Problem unter den genannten Vereinfachungen über einen stationären Fließprozess. Kennzeichnen Sie hierbei eindeutig was Reinstoff- und Mischungsströme sind. Zerlegen Sie die Enthalpieströme so, dass nur noch molare Größen in der Gleichung auftreten und beziehen Sie alle Größen auf den Gesamtstoffstrom der Mischung. Welcher Wert würde sich für den Wärmestrom  $\dot{Q}$  ergeben, könnte man die Fluide als kalorisch ideale Gase beschreiben? (3 P)

4.) Welcher Wert ergibt sich im Betriebspunkt, für den Wärmestrom  $\dot{Q}$ , wenn die Stoffströme der beiden reinen Komponenten  $\dot{n}_1 = \dot{n}_2 = 10 \frac{\text{mol}}{\text{s}}$  betragen?

**Annahme** : Die zweiten Virialkoeffizienten der volumenexpliziten Form können über

$$B_i' \approx \frac{B_{0i}}{RT} \text{ angenähert werden. Für den Interaktionsterm kann}$$

$$B_{12}' \approx 0 \text{ angesetzt werden.} \quad (4 \text{ P})$$

C) Partialverdampfer

Die flüssige Mischung der beiden Komponenten 1 und 2 soll nun kontinuierlich, in einer Partialverdampfereinheit durch die Zufuhr eines Wärmestroms, mit einem Verdampfungsgrad von  $z = 0,25$  verdampft werden.

5.) Bestimmen Sie, aus dem beigefügten Siedediagramm, die Siedetemperatur  $T_S$ , die Ausgangstemperatur  $T_A$ , sowie die Zusammensetzung der Flüssig- und Gasphase am Ausgang der Einheit  $x'_{i_a}$ ,  $x''_{i_a}$  bei gefordertem Verdampfungsgrad. (3 P)

6.) Beschreiben Sie den Vorgang über einen stationären Fließprozess und kennzeichnen Sie dabei deutlich die flüssigen und gasförmigen Anteile. Berechnen Sie anschließend den dem Verdampfer zuzuführenden Wärmestrom. Hierzu können Sie direkt die Bestimmungsgleichung verwenden. Welche Annahme, bezüglich der Enthalpien haben Sie hierbei getroffen? (3 P)

Angaben:

**Betrachten Sie die folgenden Daten als konstant im interessierenden Druck- und Temperaturbereich**

**Tank 1** : Fluid 1 + Puffergas

**Tank 2** : Fluid 2 + Puffergas

Universelle Gaskonstante :  $R_m = 8.3145 \frac{J}{mol \cdot K}$

Fluid	$\frac{M}{g \text{ mol}^{-1}}$	$\frac{\alpha}{K^{-1}}$	$\frac{B_0}{cm^3 \text{ mol}^{-1}}$	$\frac{\tilde{c}p_{vap}}{J \text{ mol}^{-1} K^{-1}}$	$\frac{\tilde{c}p_{liq}}{J \text{ mol}^{-1} K^{-1}}$	$\frac{\Delta_V \tilde{h}^{rein}}{J \text{ mol}^{-1}}$
1	25	0.0012	100	130	140	35000
2	20		80	140	120	30000
Puffergas	15	0.0034				

# Siedediagramm der Modellfluide 1 und 2

