

## Mischphasenthermodynamik

Prüfung

07. 03. 2016

### Teil 1 : Fragenteil

Gesamte Bearbeitungszeit : **60 Minuten**

Bearbeitungszeit Teil 1 : **40 Minuten**

Umfang Teil 1 : **4** nummerierte Seiten + Phasendiagramm

Für den Teil 1 der Prüfung ist als Hilfsmittel nur ein Taschenrechner zugelassen. In Teil 2 dürfen alle Unterlagen zur Vorlesung und Übung sowie Lehrbücher und Taschenrechner genutzt werden. 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

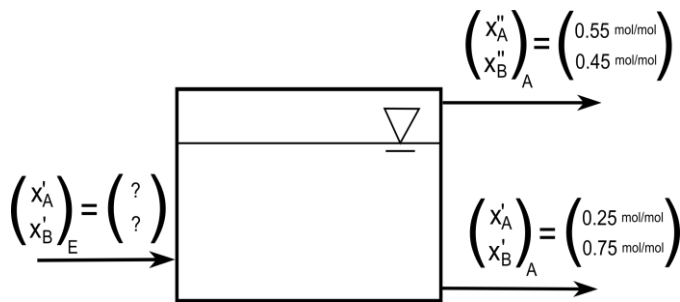
Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punkte	Korrektor
1	28		
2	14		
Summe			
Bewertung			

## Aufgabe 1 (28 Punkte)

### Phasengleichgewichte

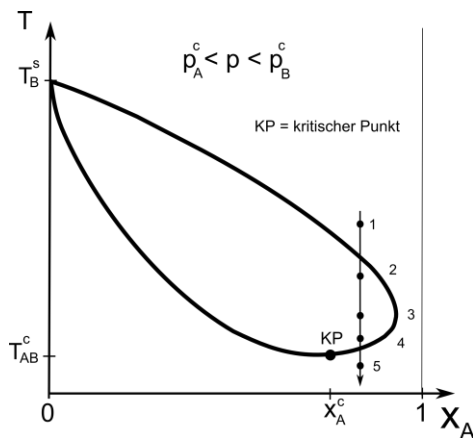
- a) Eine binäre Mischung wird in einer Verdampfereinheit kontinuierlich teilweise verdampft. Messtechnisch wurden für die Ausgangsströme die Temperatur, der Druck und die Zusammensetzung der beiden Phasen einer binären Mischung mit bekanntem Siedediagramm bestimmt. Lässt sich daraus die Zusammensetzung des Eingangstroms eindeutig bestimmen? Begründen Sie.

(2 P)



- b) Gegeben ist das Phasendiagramm einer binären Mischung mit der überkritischen Komponente A. Beschreiben Sie die Kondensation entlang der Isobaren von Punkt 1 bis Punkt 5. Gehen Sie dabei auf die Stoffmengenanteile der beiden Phasen ein. In welchem Aggregatzustand befindet sich die Mischung im Punkt 5? Wie wird diese Art der Kondensation auch genannt?

(5 P)



- c) Die binäre Mischung Ethanol (A) und Toluol (B) bildet bei dem betrachteten Systemdruck ein Leichtsiederazeotrop. Skizzieren Sie den Prozessweg für die abgebildete abgewandelte fraktionelle Destillation, bestehend aus einem Verdampfer und  $n=2$  Kondensatoren in das beige-fügte  $T, x$ -Diagramm ein. Berechnen Sie die fehlenden Werte. Welcher Wert ergibt sich für die Gas- bzw. Flüssigphasenzusammensetzung, wenn  $n$  gegen unendlich geht? (8 P)

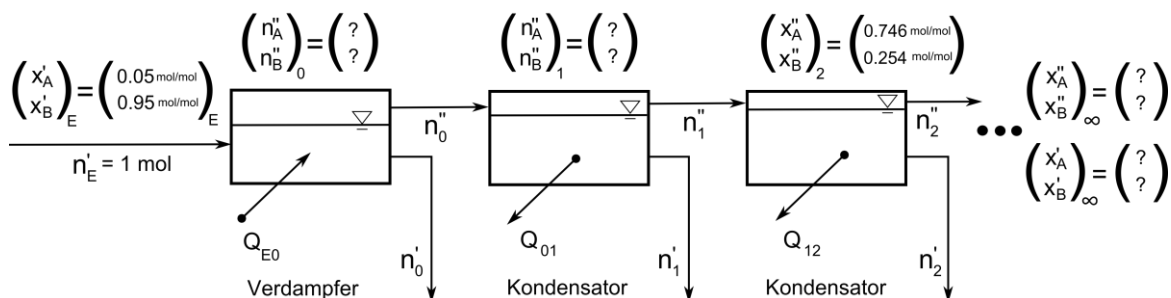
$p = 1 \text{ bar} = \text{konstant}$

$T_E = 350 \text{ K}$

$T_0 = 374 \text{ K}$

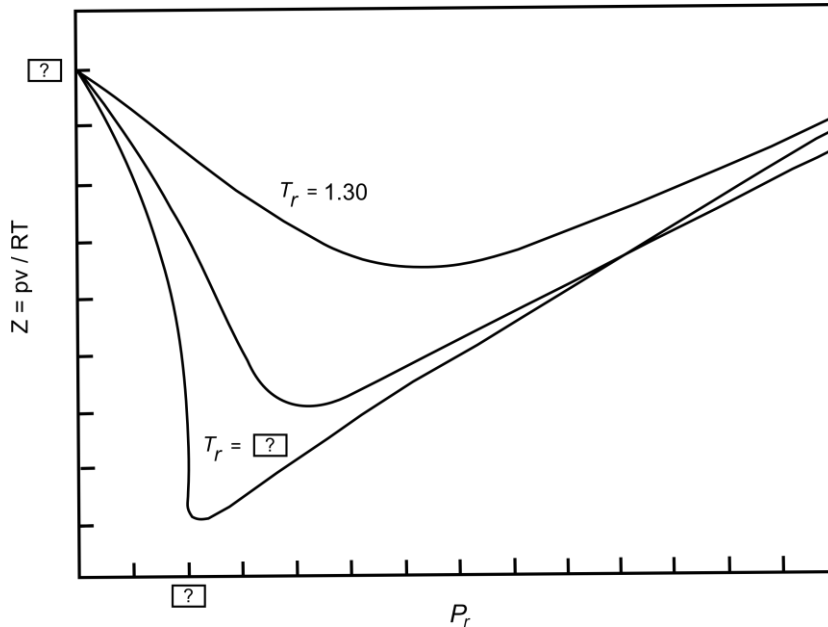
$T_1 = 354 \text{ K}$

$T_2 = ? \text{ K}$

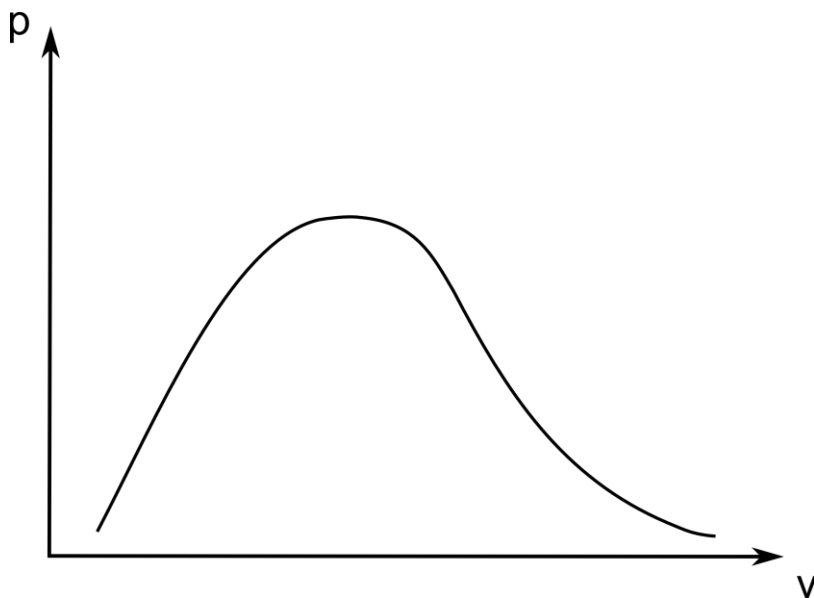


## Reale Fluide

- d) Über das Korrespondenzprinzip kann man das Realverhalten verschiedener Stoffe im dimensionslosen Koordinatensystem darstellen. Geben Sie die gesuchten Zahlenwerte an. In welchem Punkt befindet sich das globale Minimum der Kurvenscharen? Begründen Sie. Zeichnen Sie die Boyle-Isotherme qualitativ in das Schaubild ein. (2 P)



- e) Zeichnen Sie den qualitativen Verlauf einer Isothermen gemäß einer kubische Zustandsgleichung mit  $T < T_c$  in das  $p, v$ -Diagramm ein. Gehen Sie davon aus, dass drei reelle Lösungen für den Dampfdruck existieren, zeichnen Sie diese eindeutig in das Diagramm ein. Wie ist dadurch der thermodynamisch instabile Bereich gekennzeichnet? (2 P)



## Henrysches und Raoultsches Gesetz

Für die folgende Betrachtung verhalten sich sowohl die Gas- als auch die Flüssigphase vollständig ideal.

- f) Im Folgenden soll die Löslichkeit von Kohlenstoffmonoxid in Wasser betrachtet werden. Berechnen Sie die Stoffmengen beider Komponenten in der Gas- und Flüssigphase, sowie die jeweilige Zusammensetzung. Bewerten Sie zudem, ob in diesem Beispiel die Annahmen der idealen Gas- oder Flüssigphase sinnvoll sind. (5 P)

$$H_{CO,H_2O}(T) = 64109,2351 \text{ bar}$$

Gasphase	$T / ^\circ\text{C}$	$p_i / \text{bar}$	$\rho_i / \text{mol/dm}^3$	$n_i'' / \text{mol}$	$x_i'' / \text{mol/mol}$
Kohlenstoffmonoxid	35	0.944	0.0373	0.0186	?
Wasser	35	0.056	0.0022	0.0011	?

Flüssigphase	$T / ^\circ\text{C}$	$p / \text{bar}$	$\rho / \text{mol/dm}^3$	$n_i' / \text{mol}$	$x_i' / \text{mol/mol}$
Kohlenstoffmonoxid	35	-	-	?	?
Wasser	35	1	55.177	27.753	?

- g) Das vereinfachte Raoultsche Gesetz beschreibt den Gesamtdruck eines binären Dampf-Flüssig Gleichgewichts der Komponenten  $A$  und  $B$  über die Geradengleichung

$p_{Ges.}(x'_A) = m x'_A + c$ . Wie lassen sich  $m$  und  $c$  bei Kenntnis der Reinstoffdampfdrücke berechnen? (3 P)

- h) Das Henrysche Gesetz kann in das Raoultsche Gesetz umgeschrieben werden. Welchen Wert muss die Henry-Konstante  $H_{i,LM}(T)$  annehmen? (1 P)

## Mischphasenthermodynamik

Prüfung

07. 03. 2016

---

### Teil 2 : Aufgabenteil

Gesamte Bearbeitungszeit : **60 Minuten**

Bearbeitungszeit Teil 2 : **20 Minuten**

Umfang Teil 2 : **2** nummerierte Seiten

Für den Teil 1 der Prüfung ist als Hilfsmittel nur ein Taschenrechner zugelassen. In Teil 2 dürfen alle Unterlagen zur Vorlesung und Übung sowie Lehrbücher und Taschenrechner genutzt werden. 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:** \_\_\_\_\_

---

## Aufgabe 2 (14 Punkte)

Im Folgenden soll die Gasphasenzusammensetzung der binären Mischung Ethanol (A) und Wasser (B) im Dampf-Flüssigkeitsgleichgewicht bei  $T = 232.5^\circ\text{C}$  berechnet werden. Aufgrund des hohen Systemdrucks von 50 bar kann die Gasphase nicht als ideal betrachtet werden. Zur Bestimmung der Gasphasenzusammensetzung wird folgender Lösungsansatz vorgeschlagen. Der Fugazitätskoeffizient der  $i$ -ten Gaskomponente kann über eine Virialgleichung bestimmt werden. Entwickelt man bis zum 2. Virialkoeffizienten, so ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$RT \ln(\varphi_i) = p \cdot \left( -B^{mix} + 2 \cdot \sum_{j=1}^2 x_j'' B_{ij} \right)$$

- Berechnen Sie aus den angegebenen Stoffdaten das chemische Potential des Ethanols in der Flüssigphase. (2 P)
- Formulieren Sie das chemische Potential des Ethanols in der Gasphase als Funktion und verwenden Sie dabei die angegebene Näherung des Fugazitätskoeffizienten. (2 P)
- Die Phasengleichgewichtsbedingung führt, unter der Näherung  $\ln(x_i) \approx -x_i - x_i^2/2$ , auf eine quadratische Gleichung der Form  $ax_A''^2 + bx_A'' + c = 0$ . Bestimmen Sie die Koeffizienten  $a$ ,  $b$ ,  $c$  und damit dann die gesuchte Gasphasenzusammensetzung. (10 P)

### Angaben:

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

	$T / ^\circ\text{C}$	$p / \text{bar}$	$\rho / \text{mol/dm}^3$
Gasphase	232.5	50	1.778
Flüssigphase	232.5	50	20.934

### Gasphaseneigenschaften:

	$\mu_i^0 (T=232.5^\circ\text{C}, p_0=0.01 \text{ bar}) / \text{kJ/mol}$	$B_i / \text{dm}^3/\text{mol}$	$B_{AB} / \text{dm}^3/\text{mol}$
Ethanol	-38.95	-0.21737	-0.18656
Wasser	-38.86	-0.16424	-0.18656

### Flüssigphaseneigenschaften bei $T=232.5^\circ\text{C}$ und $p=50 \text{ bar}$ :

	$\mu_i^{\text{rein.liq}} / \text{kJ/mol}$	$x'_i / \text{mol/mol}$	$\gamma'_i / -$
Ethanol	-4.755	0.419	1.375
Wasser	-6.173	0.581	1.341

**2: Temperature vs. Composition plot: ethanol/toluene (0.5/0.5)**