

Name, Vorname	
Martikel-NR	
Studiengang	
Fachsemester	
Klausurnummer	1019 (gut merken!)

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	Σ
Mögl. Punkte	17	17	9	8	11	8	70
Erreicht							

Hinweise

- Füllen Sie die erste Tabelle **vollständig** und **gut lesbar** aus.
- Sie haben **eine Stunde Zeit** zur Bearbeitung der Klausur.
- Zugelassene Hilfsmittel sind ein beidseitig beschriebenes **A4-Blatt** und ein nicht programmierbarer **Taschenrechner**.
- Merken oder notieren Sie sich die oben eingetragene **Klausurnummer**, um nach der Korrektur ihr Ergebnis zu erfahren.
- Jedes beigelegte Blatt muss mit **Namen und Matrikelnummer** versehen werden.
- Der Lösungsweg muss **lesbar und klar** ersichtlich sein.
- Jeglicher **Betrugsversuch** führt zum Nichtbestehen der Veranstaltung!

Wichtige Konstanten

$$R \approx 8.314 \frac{\text{J}}{\text{molK}}$$

$$N_A \approx 6.022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$$

$$k_B \approx 1.381 \times 10^{-23} \frac{\text{m}^2\text{kg}}{\text{s}^2\text{K}}$$

$$T^\ominus = 298.15 \text{ K}$$

Aufgabe 1

17

In den folgenden Sätzen ist immer nur eine der beiden fettgedruckten Optionen korrekt. Streichen Sie alle Falschen durch.

- a) Die Arbeit ist eine **Zustandsgröße/Prozessgröße** und ist vom Prozessweg **abhängig/unabhängig**.
- b) Der Wirkungsgrad des Carnot-Prozesses wird **kleiner/größer**, wenn die Temperatur des heißen Wärmereservoirs erhöht wird.
- c) Nicht quasistatisch geführte Prozesse sind immer **reversibel/irreversibel**.
- d) Im T-S-Diagramm sind Isotherme **Geraden/Hyperbeln**.
- e) Bei isobarer Expansion eines idealen Gases von V_1 auf $2 \cdot V_1$ fließt **weniger/mehr** Wärme in das System als wäre derselbe Prozess adiabatisch geführt worden.
- f) Die Enthalpie ist definiert als **$H = U + pV$ / $H = G - TS$** .
- g) Ein Ammoniakmolekül (NH_3) besitzt **zwei/drei** Rotations- und **sechs/neun** Vibrationsfreiheitsgrade.
- h) Die mittlere Geschwindigkeit eines Gases ist **niedriger/höher**, je leichter die Gasteilchen sind.
- i) Wenn ein Stoff verdampft, **sinkt/steigt** dessen Entropie.
- j) Bei einer idealen Mischung ist die **Mischungsenthalpie/Mischungsentropie** gleich 0.
- k) Bei **p, T / V, T** konstant stellt sich das Gleichgewicht bei dem Minimum von F ein.
- l) Dass reale Gase bei Expansion ihre Temperatur ändern, zeigt der **Joule-Thomson/Van der Waals**-Versuch.
- m) Mit der van't Hoff-Gleichung lässt sich aus der **Temperatur/Druck**-abhängigkeit der **Reaktionsentropie/Gleichgewichtskonstanten** die Reaktionsenthalpie berechnen.
- n) Exzessgrößen beschreiben die Abweichung eines Stoffes von **idealem Verhalten/dessen Verhalten im gasförmigen Zustand**.

Aufgabe 2

17

Betrachten Sie Butan als reales Gas mit der Van-der-Waals-Zustandsgleichung.

$$a_{\text{Butan}} = 1.39 \frac{\text{Jm}^3}{\text{mol}^2}, \quad b_{\text{Butan}} = 1.16 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$$

- a) Erklären Sie kurz, weshalb das Butangas vom idealen Gasgesetz nicht gut beschrieben wird. **2**
- b) Zwei Mol Butan befinden sich in einem 10 L fassenden Behälter. Der Druck beträgt 550 000 Pa. Berechnen Sie die Temperatur des Gases sowohl nach der idealen Gasgleichung als auch nach der realen Gasgleichung. **5**
- c) Skizzieren Sie das p-V-Zustandsdiagramm für Butan nach der Van-der-Waals-Gleichung und zeichnen Sie in dieses drei Isothermen für die Temperaturen T_1 , T_2 , T_3 ein, sodass $T_1 < T_2 = T_C < T_3$; T_C ist die Temperatur am kritischen Punkt. **3**
- d) Skizzieren Sie das Phasendiagramm von Butan und beschriften Sie den festen, flüssigen und gasförmigen Bereich, sowie den kritischen Punkt und den Tripelpunkt. **6**
- e) Geben Sie an, wie viele thermodynamische Freiheitsgrade das System am Tripelpunkt besitzt. **1**

Aufgabe 3

9

Der Rankine-Zyklus wird für die Modellierung von Dampfkraftwerken verwendet. Das Arbeitsgas (Wasserdampf) wird für diese Aufgabe als ideales Gas modelliert. Der Prozess besteht aus den folgenden Teilschritten:

1. isobare Erwärmung bei p_1 von V_1 auf V_2 ($V_1 < V_2$)
2. adiabatische Expansion von p_1, V_2 auf p_2, V_3 ($p_1 > p_2$)
3. isobare Abkühlung bei p_2 von V_3 auf V_4
4. adiabatische Kompression von p_2, V_4 auf p_1, V_1 .

a) Stellen Sie den Kreisprozess in einem p - V -Diagramm dar, aus dem die einzelnen Zustände und Zustandsübergänge sowie die Richtung des Prozesses eindeutig hervorgehen. 3

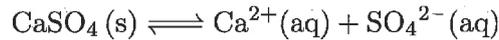
b) Geben Sie für jeden Teilschritt die Arbeit und Entropieänderung unter der Annahme an, dass das Arbeitsgas sich ideal verhält. 6

Hinweis: Sie können die Arbeit auf den Adiabaten über den 1. Hauptsatz berechnen.

Schritt	ΔW	$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T}$
1 \rightarrow 2		
2 \rightarrow 3		
3 \rightarrow 4		
4 \rightarrow 1		

Aufgabe 4**8**

Gibt man schwerlösliches Calciumsulfat (CaSO_4) in Wasser, bildet sich ein Gleichgewicht zwischen den Ionen in Lösung und dem ungelösten Feststoff aus:



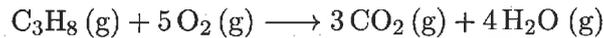
Die Konzentration von gelöstem Ca^{2+} betrage $0.0176 \text{ mol L}^{-1}$.

- a) Bestimmen Sie die Gleichgewichtskonstante K . Sie können die Aktivitäten der Ionen durch ihre Konzentration annähern. **3**
- b) Zum System wird Bariumchlorid (BaCl_2) zugegeben, wodurch Bariumsulfat (BaSO_4) ausgefällt wird. Erklären sie kurz, welchen Einfluss dies auf die Konzentrationen von Ca^{2+} in der Lösung hat. Was passiert mit dem Calciumsulfat? **2**
- c) Die Flüssigkeit wird filtriert, sodass alle ungelösten, festen Bestandteile entfernt werden. Geben Sie quantitativ an, inwiefern sich das chemische Potenzial des Wassers in der Lösung gegenüber dem chemischen Potenzial von reinem Wasser unterscheidet. **2**
- d) Geben Sie qualitativ an, wie sich der Gefrierpunkt der Lösung vom Gefrierpunkt von dem reinen Wassers unterscheidet. **1**

Aufgabe 5

11

Propan verbrennt mit Sauerstoff unter Bildung von Kohlenstoffdioxid und Wasser:



Die Standardbildungsenthalpien und molaren Standardentropien betragen:

Stoff	$\Delta_f H_m^\ominus$	S_m^\ominus
$\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$	$-104.5 \text{ kJ mol}^{-1}$	$269.5 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$\text{O}_2(\text{g})$	0 kJ mol^{-1}	$205 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$\text{CO}_2(\text{g})$	$-393.5 \text{ kJ mol}^{-1}$	$213.5 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	-242 kJ mol^{-1}	$189 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

a) Berechnen Sie die freie Enthalpie $\Delta_r G_m^\ominus$ für diese Reaktion.

4

b) Die Enthalpie hängt allgemein von Temperatur und Druck ab:

$$H(p, T) = H^\ominus + \int_{T^\ominus}^T c_p(T) dT + \int_{p^\ominus}^p V(1 - T\alpha(p)) dp$$

Der thermische Ausdehnungskoeffizient ist gegeben als $\alpha(p) = \frac{1}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_{V,n}$.

Nehmen Sie Propan als ideales Gas an und berechnen Sie $\alpha(p)$. Was bedeutet das Ergebnis für die Druckabhängigkeit der Enthalpie bei idealen Gasen?

3

c) Berechnen Sie die molare Bildungsenthalpie von Propan bei einer Temperatur von 310 K und Standarddruck mit der Wärmekapazität für ideale Gase.

4

Aufgabe 6**8**

Betrachten Sie die dreidimensionale Maxwell-Boltzmann-Verteilung des Betrags der Geschwindigkeiten:

$$G(v) = 4\pi v^2 \left(\sqrt{\frac{m}{2\pi k_B T}} \right)^3 e^{-\frac{mv^2}{2k_B T}}$$

- a) Skizzieren Sie die Verteilung für ein Gas bei 500 K und 700 K. 4
- b) Leiten Sie einen Ausdruck für die wahrscheinlichste Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur her. 4