

## Aufgabe 1: Zustandsfunktionen, thermodynamische Potentiale, Maxwell-Relationen

- a)  $z = f(x,y)$  sei eine Zustandsfunktion. Erläutern Sie die Relevanz von Zustandsfunktionen in der Thermodynamik und beschreiben Sie das totale Differential von  $z(x,y)$ . (1P)
- b) Zeigen Sie mit Hilfe der Integrabilitätsbedingung, dass die Wärme  $Q$  keine Zustandsfunktion ist, und dass die Multiplikation von  $Q$  mit einem integrierenden Faktor eine Zustandsfunktion ergibt. Um welche Zustandsfunktion handelt es sich dabei? (1P)
- c) Leiten Sie mittels Legendre-Transformation aus der Inneren Energie  $U(V,S)$  einen Ausdruck für die Freie Energie  $F(V,T)$  her. (Gehen Sie vom 1. und 2. HS der Thermodynamik und dem totalen Differential von  $U(V,S)$  aus.) (1P)
- d) Maxwell-Relationen: Ergänzen Sie

$$\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = - \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \quad \text{und} \quad \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_p \quad (1P)$$

3/4

## Aufgabe 2: Joule-Thomson-Effekt

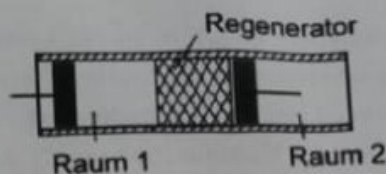
- a) Zeichnen und beschreiben Sie in Worten ein Experiment bei dem der Joule-Thomson-Effekt beobachtet werden kann. Um welche Zustandsänderung eines Gases handelt es sich beim Joule-Thomson-Effekt? (1P)
- b) Zeichnen Sie qualitativ einige Isenthalpen für das van-der-Waals Gas in ein Temperatur-Druck Diagramm. Markieren Sie im Diagramm die Bereiche, in denen bei einem Versuch zum Joule-Thomson-Effekt Abkühlung bzw. Erwärmung des Gases auftritt. (1P)
- c) Zeichnen Sie eine Isenthalpe des idealen Gases in das Diagramm in (b) und deuten Sie mikroskopisch, weshalb ein van-der-Waals Gas bei isenthalper Entspannung abkühlen kann, ein ideales Gas jedoch nicht. (1P)
- d) Leiten Sie unter Zuhilfenahme der Beziehung  $\left(\frac{\partial H(p,T)}{\partial p}\right)_T = V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$  einen Ausdruck für den Joule-Thomson-Koeffizienten  $\delta = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_H$  ab. (1P)

## Aufgabe 3: Kreisprozesse und Wirkungsgrad

- a) Leiten Sie nachvollziehbar für den speziellen Fall einer reversiblen Carnot-Wärmekraftmaschine, die einen Wärmebetrag  $Q_H$  aus einem heißen Wärmereservoir ( $T_H$ ) entnimmt und den Wärmebeitrag  $Q_K$  an ein kälteres Wärmereservoir ( $T_K$ ) abgibt, den Wirkungsgrad über die Entropiebilanz ab. (1P)
- b) Erklären Sie anhand des T-S-Diagramms, weshalb kein Kreisprozess, der zwischen zwei Wärmereservoirs mit den Temperaturen  $T_H$  und  $T_K$  abläuft, einen größeren Wirkungsgrad als den Carnot-Wirkungsgrad haben kann. (1P)

#### Aufgabe 4: Stirling-Prozess

Ein Heißluftmotor soll nach dem Stirling-Prozess (Kombination von isothermen und isochoren Zustandsänderungen) zwischen den Temperaturen  $T_2$  und  $T_1$  ( $T_2 > T_1$ ) betrieben werden.



- Skizzieren Sie den Stirling-Kreisprozess in einem p-V-Diagramm und einem T-S-Diagramm. Nummerieren Sie die Anfangs- bzw. Endpunkte der Teilprozesse und geben Sie die Umlaufrichtung an. (1P)
- Beschreiben Sie (in Worten) die einzelnen Teilprozesse  $1 \rightarrow 2$ ,  $2 \rightarrow 3$ ,  $3 \rightarrow 4$ ,  $4 \rightarrow 1$  und geben Sie für jeden der Teilprozesse die notwendigen Formeln für die Berechnung von  $\Delta W$  und  $\Delta Q$  an. (2P)
- Geben Sie in einer Tabelle für jeden der 4 Teilprozesse  $1 \rightarrow 2$ ,  $2 \rightarrow 3$ ,  $3 \rightarrow 4$ ,  $4 \rightarrow 1$  das Vorzeichen ( $>0$ ,  $<0$ ,  $=0$ ) von  $\Delta W$  und  $\Delta Q$  an. (2P)
- Beschreiben Sie die Funktion des Regenerators und kennzeichnen Sie im T-S-Diagramm die durch den Regenerator übertragenen Wärmemengen  $Q$ . (1P)
- Leiten Sie anhand der Formeln in b) einen Ausdruck für den Wirkungsgrad des Stirling-Motors ab. (1P)

#### Aufgabe 5: Phasenübergänge und Chemisches Potential

Ein reiner Stoff kann in den Phasen fest, flüssig oder gasförmig vorkommen.

- Kennzeichnen Sie in einem Diagramm, in dem das chemische Potential  $\mu$  über der Temperatur  $T$  aufgetragen ist, die Stabilitätsbereiche der einzelnen Phasen in Abhängigkeit von der Temperatur. (Tip:  $(\partial\mu/\partial T) = -s$ ) (1P)
- Wodurch wird die Stabilität einer Phase in Bezug auf das chemische Potential bestimmt und wie stehen die chemischen Potentiale zweier Phasen bei der Phasenübergangstemperatur in Beziehung? (0.5P)
- Erläutern und skizzieren Sie im  $\mu$ -T-Diagramm, wie das chemische Potential einer Flüssigkeit (= Lösungsmittel) durch Zugabe eines Stoffes (= gelöster Stoff) beeinflusst wird und wie sich das auf die Phasenübergangstemperaturen auswirkt. (1P)
- Was versteht man allgemein unter dem Begriff „kolligative Eigenschaften“? (0.5P)