

**Aufgabe 1:** Thermodynamische Potentiale/Maxwell-Relationen (15 Punkte)

Betrachten Sie ein thermodynamisches System konstanter Teilchenzahl. Wenn Energie mit der Umgebung ausgetauscht wird, geschieht dies lediglich in Form von mechanischer Arbeit und/oder Wärme.

- Was unterscheidet eine (einfache) Zustandsgröße von einem thermodynamischen Potential hinsichtlich des Informationsgehalts über ein solches System?  
Wann bezeichnet man eine Größe als thermodynamisches Potential hinsichtlich der Wahl seiner unabhängigen Variablen? (2 Punkte)
- Weshalb kann es notwendig sein, zur Beschreibung eines (solchen) Systems neben der inneren Energie  $U(S, V)$  weitere Potentiale zu definieren und worin besteht ein möglicher Vorteil in der Beschreibung eines Systems durch ein anderes Potential? (2 Punkte)
- Nennen Sie neben der inneren Energie  $U$  drei weitere thermodynamische Potentiale. Mittels welcher Transformation werden diese aus der inneren Energie erzeugt? Geben Sie für alle drei Potentiale den Zusammenhang zur inneren Energie  $U$  (Transformationsgleichungen) an! (4 Punkte)
- Welche Art der Kopplung des Systems an die Umgebung legt jedes der Potentiale aus c) nahe? Wie verändert sich, ausgehend von einem Nicht-Gleichgewichtszustand, der Wert der geeigneten Potentialfunktion auf dem Weg ins Gleichgewicht durch irreversible Prozesse? (3 Punkte)
- Ergänzen Sie die Maxwell-Relationen (Zustandsgrößen  $p, V, T, S$ ):  
(bitte auf Lösungsblatt und nicht auf Aufgabenblatt!)

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

Auf Basis welches thermodynamischen Potentials ergibt sich die jeweilige Relation? (4 Punkte)

**Aufgabe 2:** Adiabatische und isobare Volumenarbeit/Joule-Kreisprozess (19 Punkte)

Betrachtet werde eine adiabatische *Expansion*. Als Arbeitsmedium wird das ideale Gas verwendet. Die Expansion wird zwischen dem Anfangszustand 1 ( $V_1, p_1, T_1$ ) und dem Endzustand 2 ( $V_2, p_2, T_2$ ) geführt.

- Welche Beziehung gilt im Fall eines adiabatischen Prozesses zwischen dem Druck  $p$  und dem Volumen  $V$ ?  
Stellen Sie davon ausgehend das Integral zur Berechnung der adiabatischen Arbeit  $\Delta W_{1 \rightarrow 2}$  auf. (Der Integrand sollte bereits *nur* eine Funktion von  $V$  sein. Die Integration selbst müssen Sie NICHT ausführen!) (2 Punkte)
- Auf welche Art lässt sich *unter Vermeidung der direkten Integration* die adiabatische Volumenarbeit im Fall des idealen Gases berechnen? Stellen Sie die Formel für diese in Abhängigkeit der Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$  auf.  
Welches Vorzeichen besitzt dieser Term? (2,5 Punkte)
- Zeichnen Sie einen solchen adiabatischen Prozess in ein  $pV$ - und ein  $TS$ -Diagramm ein. Tragen Sie zum Vergleich in beide Diagramme die Prozesskurve einer isobaren Expansion ein, die zwischen den gleichen Volumina ( $V_1$  und  $V_2$ ) geführt wird, und *denselben Startpunkt 1* besitzt.  
Begründen Sie *nur* anhand der Graphiken, in welchem Fall die betragsmäßig größere Arbeit verrichtet bzw. Wärme ausgetauscht wird.  
Diskutieren Sie zudem qualitativ anhand des 1. Hauptsatzes, wie die geleistete Arbeit in beiden Fällen zustande kommt. (4 Punkte)
- Geben Sie eine Formel zur Berechnung der verrichteten Arbeit, der ausgetauschten Wärme und der inneren Energie für einen isobaren Prozess nur als Funktion der Temperatur von Anfangs- und Endzustand an. (2,5 Punkte)

→ Bitte wenden!

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

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

**Prüfung zur VO Thermodynamik (PHY.H30UF, 517.008)**

07.03.2018

Prüfung

Im Folgenden wird eine *Wärmekraftmaschine* gemäß einem *Joule-Kreisprozess* (vierstufig, adiabatisch-isobar) mit Wärmerückführung über einen idealen Wärmetauscher betrachtet.

- Zeichnen Sie den Kreisprozess jeweils im  $pV$ - und  $TS$ -Diagramm ein. Kennzeichnen Sie die Teilprozesse und machen Sie die Umlaufrichtung deutlich. (4 Punkte)
- Machen Sie die durch den Wärmetauscher übertragene Wärmemenge in beiden Diagrammen deutlich. Welche Bedingung ist an die Temperaturen der Eckpunkte des Kreisprozesses zu stellen, damit der Betrieb des Wärmetauschers überhaupt möglich ist? (3 Punkte)
- Erläutern Sie qualitativ ohne Rechnung, weshalb durch Wärmerückführung der Wirkungsgrad des Kreisprozesses erhöht wird. (1 Punkt)

**Aufgabe 3: Joule-Thomson-Effekt (11 Punkte)**

- Zeichnen Sie qualitativ einige *Isenthalpen* für das *van-der-Waals Gas* in das  $Tp$ -Diagramm in die **Graphik zu Aufgabe 3 auf Seite 1 des Lösungsblattes**. (2 Punkte)
- Erklären Sie anhand dieses Diagramms (6 Punkte):
  - Was versteht man unter dem Joule-Thomson-Effekt?
  - Wie ist der Joule-Thomson-Koeffizient definiert?
  - In welche Bereiche lässt sich das Diagramm unterteilen und welches Vorzeichen besitzt der Joule-Thomson-Koeffizient im jeweiligen Bereich?
  - Wie reagiert ein System im jeweiligen Bereich auf eine isenthalpe Druckänderung?
- Zeichnen Sie vergleichsweise eine Isenthalpe des *idealen Gases* in das Diagramm aus (a). Deuten Sie den Effekt einer isenthalpen Entspannung auf ein *van-der-Waals Gas* mikroskopisch. Welcher Effekt ist für das ideale Gas zu erwarten? Begründen Sie! (3 Punkte)

**Aufgabe 4: Klassifikation und Beschreibung von Phasenübergängen (15 Punkte)**

- Wie unterteilt man Phasenübergänge gemäß der Klassifikation nach Ehrenfest? Wie verhalten sich die freie Enthalpie bzw. zumindest eine ihrer Ableitungen im Bereich des Phasenübergangs? Nennen Sie jeweils zwei Beispiele für Phasenübergänge der einzelnen Klassen! (5 Punkte)
- Die Landau-Theorie der Phasenumwandlungen stellt eine einfache Möglichkeit dar, im Bereich der Phasenumwandlung quantitative Aussagen über systemrelevante Größen zu erhalten. Die Theorie benützt das Konzept des *Ordnungsparameters*. Die Phasenumwandlungstemperatur des zu betrachtenden Systems sei  $T_C$ .
- Benennen Sie zwei physikalische Phänomene die mit einer Phasenumwandlung verbunden sind, sowie den jeweils zugehörigen Ordnungsparameter. Welchen Wert besitzt dieser für  $T < T_C$  bzw.  $T > T_C$ ? (3 Punkte)
  - In der **Graphik zu Aufgabe 4 auf Seite 1 des Lösungsblattes** ist die (molare) freie Enthalpie für drei verschiedene Temperaturen  $T$  gegen einen Ordnungsparameter  $J$  aufgetragen. Identifizieren Sie die einzelnen Kurven mit  $T > T_C$ ,  $T = T_C$  und  $T < T_C$  und erklären Sie anhand dieser Kurven das Zustandekommen und Charakteristika einer Phasenumwandlung. Welcher Klasse aus (a) gehört dieser Phasenübergang an? (4 Punkte)
  - Was verstehen Sie im Zusammenhang mit Phasenumwandlungen unter *kritischen Exponenten* und einer *Skalenrelation*? (3 Punkte)