

1) Stirling-Prozess mit und ohne Regenerator (21 Punkte)

Zwischen zwei Wärmespeichern mit den konstanten Temperaturen T_L und T_H arbeitet eine Wärmekraftmaschine mit einem idealen Gas als Arbeitsmedium in folgender Prozessabfolge, ausgehend von einem Zustand (p_1, V_H, T_L) :

- 1 → 2: Isotherme Kompression des Systems auf V_L bei T_L
- 2 → 3: Isochore Erwärmung auf T_H
- 3 → 4: Isotherme Expansion auf das Ausgangsvolumen
- 4 → 1: Isochore Kühlung auf die Ausgangstemperatur

- a) Stellen Sie die Prozessschritte in einem **pV- und TS-Diagramm** dar. (4P)
- b) Geben Sie für jeden Prozessschritt Formeln für ΔQ und ΔW (bezogen auf das System) in Abhängigkeit den bekannten Größen T_H , V_H , T_L und V_L an. Argumentieren Sie, ob der Beitrag größer oder kleiner 0 ist. (8 P)
- c) Bestimmen Sie den thermodynamischen Wirkungsgrad des Kreisprozesses anhand der ausgetauschten Wärmemengen. (2 P)
- d) Berechnen Sie die Entropiebilanz (*Gesamtentropiedifferenz nach einem vollen Durchlauf*) zu einem für das **System** und zum anderen für die aus den beiden Wärmespeichern bestehende **Umgebung**. Interpretieren Sie die Gesamtentropiebilanz für System und Umgebung. (4 P)
Hinweis: Nehmen Sie bei der Berechnung der Entropie der Umgebung an, dass die Wärmeab- bzw. -zufuhr bei allen Teilschritten bei den konstanten Temperaturen der Wärmebäder erfolgt.
- e) Geben Sie eine Formel für den Wirkungsgrad des Kreisprozesses mit einem idealen Regenerator an. Beschreiben Sie die Wirkungsweise des Regenerators und stellen Sie diese im TS-Diagramm aus Teilaufgabe a) dar. Was lässt sich über den Wirkungsgrad sagen? Was ergibt sich in diesem Fall für die Gesamtentropiebilanz? (3P)

2) Joule-Thomson Effekt (9 Punkte)

- a) Berechnen Sie den Joule-Thomson-Koeffizienten $\delta = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_H$ unter Verwendung der Beziehung $\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T = V - T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$. (2P)
- b) Stellen Sie die Inversionskurve und die Isenthalpen des Van der Waals Gases (vdW) in einem **Tp-Diagramm** dar. Welchen Wert hat δ entlang der Inversionskurve? Tragen Sie zum Vergleich Isenthalpen für das ideale Gas in das Diagramm ein. (4P)
- c) Erklären Sie anhand des Kurvenverlaufs, welche Wirkung eine isenthalpe Entspannung des VdW-Gases und des idealen Gases auf die Temperatur hat. Wann tritt Abkühlung auf? Was ist die mikroskopische Ursache hierfür? (3P)