

# Übungsblatt TD 4

## E2/E2kompakt Thermodynamik, Prof. Braun, SoSe 2024

### Zweiter Hauptsatz, Clausius-Clapeyron'sche Relation

#### Mündliche Aufwärmfragen

Geben Sie eine Formulierung des Entropiesatzes? Ist Entropie eine intensive Größe? Welchen Wert strebt die Wärmekapazität im absoluten Nullpunkt an? Wofür wird der Drosselprozess benutzt?

#### Aufgaben zum Vorrechnen

- (mittel) Ein warmer Körper ( $T=450\text{K}$ ) verliert durch Wärmeleitung eine Wärmemenge von  $Q=1.5\text{kJ}$  an einen kühleren Körper mit der Temperatur  $330\text{K}$ . Beide Körper sind so massiv, daß der Wärmefluß ihre Temperatur nicht merklich ändert. Wieviel Entropie verliert der warme und gewinnt der kalte Körper? Zeigen Sie, daß in der Summe die Entropie ansteigt.
- (mittel) Sie lassen sich ein Bad ein und mischen hierzu heißes Kesselwasser mit kaltem Leitungswasser.

a) Um wieviel steigt die Gesamtentropie an durch das Mischen von  $40\text{l}$  von  $65^\circ\text{C}$  warmem Wasser mit  $25\text{l}$  Wasser der Temperatur von  $15^\circ\text{C}$ ? Die Wärmekapazität pro Masse von Wasser ist  $C_V=4.2\text{kJ}/(\text{kgK})$ . Integrieren Sie über den gefahrenen Temperaturverlauf des Mischens mittels  $dQ_{\text{rev}} = mC_V dT$  und dem zweiten Hauptsatz

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{mC_V}{T} dT$$

b) Zeigen Sie, daß Sie dasselbe Resultat für die Entropieänderung bekommen, wenn Sie mit der Entropieformel für ideale Gase starten und für die Wärmekapazität eines Teilchens des idealen Gases ansetzen  $C_V = 3k/2$ .

- (mittel) In Deutschland hat die absorbierte Strahlung der Sonne eine über das Jahr gemittelte Leistung von etwa  $1370\text{W}$  pro Quadratmeter orientierter Fläche auf der Erde. Die Temperatur der Sonnenoberfläche ist etwa  $6000\text{K}$ , die der Erde rund  $300\text{K}$ .
  - Schätzen Sie die Entropieproduktion innerhalb eines Jahres für einen Quadratmeter Erdoberfläche ab.
  - Nehmen Sie an, Sie pflanzen Gras (oder andere Lebewesen) auf diesen Quadratmeter. Einige Leute würden argumentieren, daß diese Lebewesen den zweiten Hauptsatz verletzen, weil sie ungeordnete Nährstoffe in geordnete Lebensformen überführen. Wie würden Sie antworten?

4. (knifflig) Wenden Sie die Clausius-Clapeyron'sche Beziehung auf den Übergang von Eis zu Wasser an. Statt gasförmig => flüssig wird nun also flüssig => fest betrachtet.

- Warum hat die Phasengrenze eine negative Steigung im T-p-Diagramm ( $\partial p / \partial T$ ) ?
- Schätzen Sie ab, unter welchem Druck Eis schon bei  $-1^\circ\text{C}$  schmilzt. Schmelzwärme  $Q_p=335 \text{ kJ/kg}$  und Dichte des Eises  $920 \text{ kg/m}^3$ , Dichte des Wassers  $1000 \text{ kg/m}^3$ .
- Wie tief unter einem Gletscher muß man dazu sein?
- Reicht der Druck beim Schlittschuhlaufen, um auf einem Wasserfilm zu gleiten? Schätzen Sie dazu die Geometrie einer Eiskufe (und das Gewicht des Schlittschuhläufers) grob ab. Wie tief kann die Temperatur des Eises sein, damit es unter dem Schlittschuh noch schmelzen würde? Halten Sie also obige Erklärung für den Wasserfilm beim Schlittschuhlaufen für realistisch?

5. (mittel) Ein Eiswürfel (Masse 20g) mit einer Temperatur von  $0^\circ\text{C}$  ist auf dem Küchentisch vergessen worden und schmilzt langsam. Die Temperatur der Küche ist  $25^\circ\text{C}$ . Latente Schmelzwärme von Eis:  $L=335 \text{ J/g}$ .

- Berechnen Sie die Entropiezunahme für das Schmelzen des Eiswürfels in Wasser der Temperatur  $0^\circ\text{C}$ . Anteile durch die Volumenänderung kann man vernachlässigen.
  - Berechnen Sie die Entropieänderung des Wassers beim Aufheizen von  $0^\circ\text{C}$  auf  $25^\circ\text{C}$ . Nehmen Sie eine konstante Wärmekapazität von  $4.2 \text{ J/gK}$  an.
- c) Berechnen Sie die Entropieänderung der Küche durch die Abgabe der Wärmemenge an den Eiswürfel während den beiden Prozessen in (a) und (b). Steigt die Gesamtentropie an?

6. (knifflig) Ein ideales Gas expandiert vom Volumen  $V_1=1\text{l}$  durch ein kleines Loch in ein Vakuum. Am Ende ergibt sich ein doppelt so großes Gasvolumen  $V_2=2\text{l}$ . Die Anfangstemperatur ist  $270\text{K}$ , der Anfangsdruck  $5 \text{ bar}$ .

- Berechnen Sie den Entropieanstieg dieses irreversiblen Prozesses mittels

$$S(U, V, N) = Nk[\ln(VU^{3/2}N^{-5/2}) + \text{const}]$$

Diskutieren Sie, warum bei dem Prozess U konstant bleibt.

- Vergleichen Sie mit der reversiblen Führung einer isothermen Expansion.
- Sie erhalten dasselbe Ergebnis in (a) und (b). Erstaunt Sie das? Welche Form nimmt der erste Hauptsatz  $dU = \delta Q + \delta W$  in beiden Prozessen an?