

Klausur zur Vorlesung Thermodynamik 1

Für alle Aufgaben gilt: Der Rechen- bzw. Gedankengang muss stets erkennbar sein!

Bei einer Interpolation sind die Stützstellen anzugeben.

Nur die beiden Lehrbücher (Thermodynamik kompakt), die vom IfT herausgegebene Foliensammlung und selbsterstellte, handschriftliche Aufzeichnungen sind als Hilfsmittel zugelassen

Die Bearbeitungszeit beträgt 90 Minuten.

Aufgabe 1: *Reale Stoffe im 2-Phasen-Gebiet*

13 von 50 Punkten

Kurzfrage (2 Punkte): Die Verdampfungsenthalpie von CO_2 sinkt mit steigendem Druck. Bis zu welchem Druck (konkreter Wert!) setzt sich dieser Trend fort? Welchen Wert hat die Verdampfungsenthalpie bei diesem Druck?

In einem Behälter mit konstantem Volumen von 10 Litern befinden sich (ausschließlich) $m = 2 \text{ kg}$ Wasser bei einem Druck von $p_1 = 0,03 \text{ bar}$. Der Behälter befindet sich bereits seit langer Zeit in einer Umgebung mit konstanter Temperatur.

a) Welche Temperatur t_U hat die Umgebung?

Durch eine Wärmezufuhr Q_{1-2} steigt die Temperatur des Wassers auf $t = 41,54^\circ\text{C}$.

b) Bestimmen Sie die spezifische Enthalpie h_2 nach der Wärmezufuhr.

c) Wie viel Wärme Q_{1-2} musste zugeführt werden?

d) Ausgehend von Zustand 2 soll versucht werden, das gesamte Wasser in dem Behälter in den Zustand der siedenden Flüssigkeit zu überführen. Ist das möglich? Falls ja: Welcher Druck herrscht dann im Inneren des Behälters? Falls nein: Begründen Sie (ggf. mit Hilfe eines geeigneten Diagramms), warum das nicht geht.

e) Ausgehend von Zustand 2 soll versucht werden, das gesamte Wasser in dem Behälter in den Zustand des gesättigten Dampfes zu überführen. Ist das möglich? Falls ja: Welcher Druck herrscht dann im Inneren des Behälters? Falls nein: Begründen Sie (ggf. mit Hilfe eines geeigneten Diagramms), warum das nicht geht.

Aufgabe 2: *Arbeit mit Druckluft*

10 von 50 Punkten

Eine mit Druckluft betriebene Maschine auf einer Baustelle in Braunschweig verrichtet eine mechanische Leistung von 2 kW. Ihr wird Druckluft bei Umgebungstemperatur $T_1 = T_U = 20^\circ\text{C}$ und bei dem Druck $p_1 = 6\text{ bar}$ (Zustand 1) zugeführt.

Die Druckluft verhält sich annähernd wie ein ideales Gas.

- a) Wieviel Liter Druckluft im Zustand 1 benötigt die Maschine mindestens pro Minute?
- b) Welche Austrittstemperatur T_2 hat die Luft in diesem Fall?
- c) Welche Leistung könnte die Maschine mit dem unter a) berechneten Druckluftstrom verrichten, wenn in ihr aufgrund von Irreversibilität $\dot{S}_{\text{prod}} = 2 \frac{W}{K}$ Entropie produziert würden.

Aufgabe 3: *Gemischte Fragen*

15 von 50 Punkten

- a) Zeigen Sie mithilfe einer geeigneten Gleichung aus Anhang B des Lehrbuchs, dass die Enthalpie H eines reinen, idealen Gases nur von dessen Temperatur und nicht von seinem Druck abhängt.
- b) Im Innenraum eines elektrisch beheizten Backofens (Widerstandsheizung), der auf eine konstante Temperatur von $t = 180^\circ\text{C}$ geregelt ist, brennt während des gesamten Backvorgangs eines Kuchens (45 Minuten) eine kleine Lampe ($\dot{W}_{el} = 5\text{ W}$). Der Besitzer des Backofens backt jeden Sonntag einen Kuchen. Wie viel elektrische Energie müsste dem Backofen pro Jahr weniger zugeführt werden, wenn er die Lampe herausraubte und der Kuchen im Dunkeln gebacken würde? (Die Frontscheibe des Backofens ist so stark verschmutzt, dass man sowieso nicht in den Ofen schauen kann.)
- c) Berechnen Sie den isothermen Kompressibilitätskoeffizienten χ von $n = 1,5\text{ mol}$ Wasserstoff, das sich bei $T = 20^\circ\text{C}$ in einem Behälter mit einem Volumen von $V = 0,02\text{ m}^3$ befindet. Wasserstoff verhält sich unter diesen Bedingungen wie ein ideales Gas.
- d) Eine adiabate, reale Pumpe in einem See nimmt eine Leistung $\dot{W}_t = 5,00\text{ kW}$ auf. Diese Pumpe saugt pro Sekunde 20,00 Liter ruhendes Wasser mit folgenden Eigenschaften an: $p_1 = 1,00\text{ bar}$, $t_1 = 20,000^\circ\text{C}$. Das Wasser wird senkrecht nach oben ausgeblasen, sodass sich eine Fontaine mit einer Höhe von 18,00 Metern bildet. Welche Temperatur hat das Wasser am höchsten Punkt der Fontaine. Gehen Sie davon aus, dass es keine Wärmeübertragung zwischen Umgebung und Wasser gibt.
- e) Welcher Anteil Wärme, den ein Kreisprozess von einem heißen System bei 546°C aufnimmt, muss er bei einer Umgebungstemperatur von 0°C mindestens als (Ab-)Wärme an die Umgebung abgeben? (Es gibt keine weiteren Wärmesenken!)

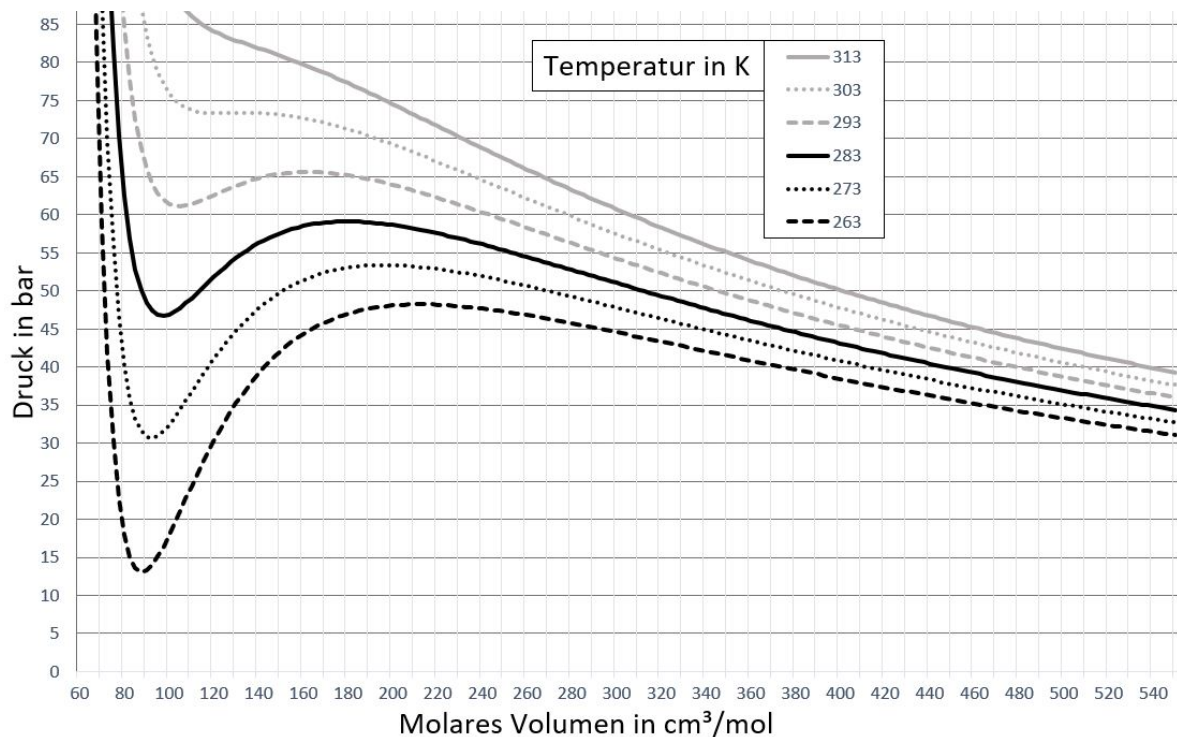


Abbildung 1: Darstellung der Isothermen einer Van-der-Waals-Gleichung

Die folgenden Aufgaben beziehen sich auf den in Abbildung 1 dargestellten Stoff. Die Abbildung wurde mithilfe einer Van-der-Waals-Gleichung berechnet. Erklären Sie bei jeder Teilaufgabe, wie Sie vorgegangen sind, um den gesuchten Wert zu ermitteln, und welche Werte Sie dazu ggf. aus dem Diagramm abgelesen haben.

- Ermitteln Sie den Siededruck bei 0°C .
- Ermitteln Sie das Volumen von 3 Mol gesättigtem Dampf bei 20°C .
- Bestimmen Sie die Parameter a und b der Van-der-Waals-Gleichung für diesen Stoff.
- Kann es sich bei dem dargestellten Stoff um Wasserstoff handeln?

Die folgenden Aufgaben beziehen sich nicht mehr auf den oben dargestellten Stoff.

- Wenn ein ideales Gas mit der Van-der-Waals-Gleichung beschrieben werden soll; gegen welchen Wert muss der Parameter b dann gehen?
- Die Van-der-Waals-Gleichung erlaubt es, das Volumen in Abhängigkeit von Druck und Temperatur zu bestimmen. Somit ist sie eine thermische Zustandsgleichung. Welche thermodynamische Größe müsste eine Gleichung in Abhängigkeit von Druck und Temperatur liefern, damit es eine Fundamentalgleichung wäre?
- Welche zusätzlichen Informationen - neben einer thermischen Zustandsgleichung - benötigt man, um die gleichen Informationen zu besitzen, wie die in einer Fundamentalgleichung enthaltenen.