

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 selbst erstellte, handschriftliche Aufzeichnungen sind als Hilfsmittel zugelassen

Die Bearbeitungszeit beträgt 90 Minuten.

Aufgabe 1: *Kompression von Luft*

9 von 50 Punkten

Kurzfrage: Beurteilen Sie folgende Aussage: „Sowohl bei einer adiabaten Verdichtung als auch bei einer adiabaten Drosselung eines idealen Gases ändert sich dessen Temperatur nicht.“

In einem auf der einen Stirnseite verschlossenen Zylinder befindet sich Luft (ideales Gas) mit Umgebungstemperatur $T_U = 20^\circ\text{C}$ und Umgebungsdruck $p_U = 1\text{ bar}$.

Der Zylinder hat eine Länge von $l = 20\text{ cm}$. Der Kolben befindet sich zunächst noch nicht im Zylinder (Zustand 1) und wird dann zunächst 2 cm so langsam reibungsfrei eingeführt (Zustand 2), dass sich die Temperatur der nun eingeschlossenen Luft nicht verändert. Danach wird der Kolben sehr schnell weitere 15 cm reibungsfrei eingeschoben (Zustand 3). Aufgrund der Kürze dieses Vorgangs wird währenddessen keine relevante Wärme aus der Luft an den Zylinder übertragen. In der gesamten Aufgabe soll davon ausgegangen werden, dass die Luft im Inneren des Zylinders gut durchmischt ist und es keine Temperaturgradienten im Inneren der eingeschlossenen Luft gibt.

- Bestimmen Sie das Verhältnis von im ersten Prozessschritt an die Luft übertragener Wärme Q_{1-2} und der an der Luft verrichteten Volumenänderungsarbeit $W_{V,1-2}$.
- Bestimmen Sie die Drücke p_2 und p_3 sowie die Temperatur T_3 .

Anschließend verbleibt der Kolben für lange Zeit in der Position des Zustands 3.

- Erklären Sie, ob währenddessen die spezifische Entropie s der Luft (geschlossenes System) steigt, sinkt oder konstant bleibt.
- Tritt währenddessen ein Arbeitsverlust durch Irreversibilität $w_{V,irrev}$ auf? Falls ja: Diskutieren Sie, wo genau er auftritt. Falls nein: Begründen Sie, warum er nicht auftritt.

Aufgabe 2: *Zustandsänderung Neon*

13 von 50 Punkten

Betrachtet werden $m = 10\text{ g}$ Neon, ein farbloses, einatomiges Edelgas mit der Gaskonstante $R_{Ne} = 412 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$. Das Gas liegt bei Umgebungsbedingungen vor. Die Umgebung hat eine Temperatur von 25°C und einen Druck von 1 bar. Das Neon verhält sich annähernd wie ein ideales Gas.

- Welche Arbeit muss mindestens aufgewendet werden, um das Gas in den Zustand 1 mit den folgenden Eigenschaften zu bringen: $T_1 = 250\text{ K}$ und $p_1 = 10\text{ bar}$
- Ein Prozess, für den nur die unter a) berechnete Arbeit aufgewendet werden darf, muss in zwei Schritten ablaufen. Benennen Sie die erste Zustandsänderung und die zweite Zustandsänderung!
Zeichnen Sie den Prozess in ein qualitativ korrektes p-V-Diagramm ein und kennzeichnen Sie darin die minimal zu verrichtende Arbeit.
- Bestimmen Sie den Druck des notwendigen Zwischenzustands, zwischen den beiden Prozessschritten.

Aufgabe 3: *Thermische Zustandsgleichung*

8 von 50 Punkten

Ein Stoff sei durch die folgende Gleichung für die spezifische freie Energie f in Abhängigkeit von spezifischem Volumen v und Temperatur T beschrieben:

$$f(T, v) = -a T \ln(v - b) + c T^2$$

- Leiten Sie aus der gegebenen Gleichung die thermische Zustandsgleichung des Stoffes her.
- Diskutieren Sie anhand der unter a) gefundenen Gleichung kurz, ob der Stoff sich wie ein ideales Gas verhält. Falls nicht: Welches reale Verhalten wird hier abgebildet?
- Welche zwei Abweichungen vom Verhalten eines idealen Gases bildet die Van-der-Waals-Gleichung ab?
- Beurteilen Sie die folgende Aussage: „ He ist ein ideales Gas. O_2 und H_2O sind jedoch keine idealen Gase.“

- a) Eine in der Vorlesung vorgestellte Form der thermischen Zustandsgleichung ist die Virialgleichung der Form $Z = 1 + \frac{B(T)}{V_m} + \frac{C(T)}{V_m^2} + \frac{D(T)}{V_m^3} \dots$.
Welche Bedeutung hat der dritte Summand ($\frac{C(T)}{V_m^2}$) auf der rechten Seite? Auf welche Stoffe trifft in diesem Zusammenhang die Gleichung $Z=1$ zu?
- b) Gehen Sie davon aus, dass sich das Verhalten von Ammoniak in dieser Aufgabe gut mit der Van-der-Waals Gleichung beschreiben lässt. Bestimmen Sie die Temperatur von 2 kg Ammoniak, das bei einem Druck von $p_1 = 11 \text{ bar}$ ein Volumen von 500 Litern einnimmt. (Nutzen Sie ggf. Stoffdaten aus dem Anhang des Lehrbuchs.)
- c) Eine reale Turbine gibt eine Leistung $\dot{W}_t = 1,25 \text{ MW}$ ab. In die Turbine strömen $\dot{m} = 2,00 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ Wasser mit folgenden Eigenschaften ein: $p_1 = 150,00 \text{ bar}$, $h_1 = 2784 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$, $s_1 = 5,588 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$. Das Wasser verlässt die Turbine bei einem Druck von $p_2 = 1,00 \text{ bar}$. Berechnen Sie den isentropen Turbinenwirkungsgrad $\eta_{s,T}$.
- d) Es werden $m = 2 \text{ kg}$ gesättigter Wasserdampf bei einem Druck von 3 bar betrachtet, die sich in einem Behälter mit unveränderlichem Volumen befinden. Außer dem Wasserdampf befindet sich keine weitere Substanz in dem Behälter. Wie viel Wärme muss das Wasser abgeben, damit der Druck im Behälter auf 2 bar sinkt?
- e) Ein Wärmetransformator nimmt einen Wärmestrom $\dot{Q}_1 = 10 \text{ kW}$ von einem Wärmebad mit der Temperatur $T_1 = 500 \text{ K}$ auf und soll, ohne dass von außen Arbeit an dem System verrichtet wird, Wärme bei einer Temperatur von $T_2 = 850 \text{ K}$ bereitstellen. Wie groß kann der bei T_2 abgegebene Wärmestrom in einer Umgebung mit $T_U = 300 \text{ K}$ maximal sein?
- f) Eine reversible Wärmekraftmaschine nimmt den Wärmestrom $\dot{Q}_1$ bei $T_1 > T_U$ auf. Sie verrichtet technische Arbeit, die zunächst einem reibungsbehafteten Getriebe zugeführt wird, bevor damit ein elektrischer Generator angetrieben wird. Die Temperatur des Getriebes soll zur Vereinfachung die Temperatur der Umgebung haben. Zeichnen Sie ein Anergie- / Exergie-Flussdiagramm, das die Wärmekraftmaschine und das Getriebe beinhaltet sowie alle Energieströme, die in diese beiden Maschinen ein- oder ausströmen.