

Übungsblatt TD 3

E2/E2p Thermodynamik, Prof. Braun, SoSe 2020

Spezifische Wärme und Prozesse

Mündliche Aufwärmfragen: Haben Sie gut aufgepaßt?

Was ist eine latente Wärme? Warum ist C_p größer als C_v ? Was ist die Adiabaten-Gleichung? Was versteht man unter dem Boltzmann-Faktor? Skizzieren Sie die Temperaturabhängigkeit der Wärmekapazität eines zweiatomigen Gases? Welche Annahmen stecken im Einstein-Modell des Festkörpers? Zeichnen Sie im p - V -Diagramm den Verlauf einer Isobaren, Isochoren, Isothermen und Adiabaten? Wie schnell darf ein Kolben bewegt werden, damit die Expansion noch quasistatisch erfolgt?

Aufgaben zum Vorrechnen

1. (leicht) Wir kochen Spaghetti. Die Wärmekapazität von Spaghetti ist etwa $1.8 \text{ J}/(\text{gK})$ und ihre Temperatur 20°C . Wenn man 250g Spaghetti in 1.5 liter kochendes Wasser ($4.2 \text{ J}/(\text{gK})$) gibt, um wieviel kühlt sich das Wasser ab, bevor der Herd wieder weiter Wärme zuführt?
2. Freiheitsgrade (leicht)
 - a) Berechnen Sie den Adiabatenkoeffizienten γ für ein ideales Gas ohne und mit 2 Rotationsfreiheitsgraden.
 - b) Für ein Gas wurde experimentell ein Adiabatenkoeffizient von $\gamma=1.333$ bestimmt. Geben Sie die Zahl der Freiheitsgrade an.
3. (mittel) Warum sollte man C_p eigentlich Enthalpie-Kapazität nennen? Zeigen Sie, daß für ein ideales Gas gilt:

$$nC_p = \frac{\partial H}{\partial T}$$

(bei festgehaltenem Druck; Enthalpie $H=U+pV$)

4. (mittel-knifflig) Wenn Sie eine Klimaanlage als inverse Carnot-Maschine annehmen, können Sie dann herleiten, warum die laufenden Energiekosten quadratisch mit dem Temperaturunterschied von gekühltem Inneren und warmen Äußeren ansteigt? Nehmen Sie dazu an, dass die Klimaanlage gegen die Wärmeleitung arbeiten muß - nehmen Sie für die Wärmeleitung das Fourier'sche Gesetz der Wärmeleitung an.
5. (mittel) Zeigen Sie für den Carnotprozess in der Vorlesung, daß gilt:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

Tip: Stellen Sie die p - V -Relationen der vier Prozesse auf und eliminieren Sie die Drücke.

6. (mittel) Eine effiziente Art, nur elektrische Energie aus fossilen Energieträgern zu erhalten sind kombinierte Gas- und Dampfturbinenkraftwerke (de.wikipedia.org/wiki/Gas-und-Dampf-Kombikraftwerk). Hierbei werden die Abgase einer sehr heiß betriebenen Gasturbine durch einen Dampfkreislauf nachgekühlt.
- Leiten Sie einen Ausdruck für den Gesamtwirkungsgrad η_{GD} der elektrischen Leistung her, wenn Sie die Wirkungsgrade der Gasturbine η_G und der Dampfturbine η_D wissen. Machen Sie am besten ein kleines Energieflußdiagramm.
 - Mit typischen Werten $\eta_G=35\%$ und $\eta_D=45\%$, welchen Gesamtwirkungsgrad η_{GD} können Sie erwarten? Vergleichen Sie mit dem Carnot-Wirkungsgrad bei typischen Prozesstemperaturen von 1300°C , 600°C und 20°C und mit dem Carnot-Wirkungsgrad einer direkten Umsetzung von 1300°C auf 20°C .
7. (knifflig, für Kreisprozessfans - Lösung von Prof. Stierstadt wird online gestellt.)
Hauptidealisierung im Carnot-Prozess ist die im Prinzip unendliche dauernde Wärmeaufnahme und -abgabe im Isothermen Prozess, weil kein Temperaturunterschied zwischen dem Arbeitsgas und den Wärmebädern angenommen wird. Wenn wir einen Temperaturunterschied annehmen, erhalten wir mit T_W die Temperatur des warmen Reservoirs in Kontakt mit der etwas kühleren Temperatur $T_{W'}$ des Arbeitsgases, analog T_K und etwas wärmer $T_{K'}$ bei der isothermen Kontraktion.
- Nehmen Sie das Fourier'sche Gesetz der Wärmeleitung an, z.B. für den warmen isothermen Prozessast mit $\Delta Q_W / (A_W \Delta t_W) = \lambda_W (T_W - T_{W'})$ mit Kontaktfläche A_W , Wärmeleitkoeffizient λ_W und Wärmemenge ΔQ_W und Kontaktzeit Δt_W . Des weiteren sei die Dauer der adiabatischen Subprozesse vernachlässigbar und die Zeiten der beiden isothermen Schritte gleich groß. Mit der Näherung $K = A_W \lambda_W = A_K \lambda_K$ können Sie die abgegebene Leistung direkt als Funktion von ΔQ_W , ΔQ_K , T_W , $T_{W'}$ darstellen.
 - Die Wärmen ΔQ_W , ΔQ_K können Sie mit einem entropischen Argument eliminieren, weil die Gesamtentropie der Maschine selbst innerhalb eines Zyklus konstant bleiben muß. Damit erhalten Sie die Leistung der Maschine als Funktion von T_W , $T_{W'}$, $T_{K'}$.
 - Wir sind daran interessiert, die Leistung bei konstantem T_K und T_W zu maximieren. Hierzu müssen Sie im Leistungsausdruck $T_{K'}$ durch T_K und den anderen Temperaturen ausdrücken und das Extrema durch Ableiten nach $T_{W'}$ suchen. Nach Lösen einer quadratischen Gleichung sollten Sie $P_{\max} = (K/4)(\sqrt{T_W} - \sqrt{T_K})^2$ erhalten.
 - Zeigen Sie, daß in diesem Fall der maximalen Leistung die Effizienz gegeben ist mit

$$\eta = 1 - \sqrt{\frac{T_K}{T_W}}$$

Welchen Wirkungsgrad erwarten Sie für $T_K=20^\circ\text{C}$ und $T_W=600^\circ\text{C}$ (siehe η_D der obigen Aufgabe). Vergleichen Sie mit dem Carnot-Wirkungsgrad. (Nota bene: wenn Rohstoffkosten höher als die Kraftwerkkosten sind, wird das Kraftwerk nicht bei optimaler Leistung, sondern tendenziell bei höherer Effizienz gefahren werden.)