

12. Übungsblatt zur Experimentalphysik 1 (WS 16/17)

Zweiatomige Gase, Kreisprozesse und Entropie

Abgabe am 26./27. 1. 2017 in den Übungen

Name(n): _____ Gruppe: _____ Punkte: ___/___/___/___

12.1 Erwärmung von Stickstoff (10 Punkte)

Eine bestimmte Menge Stickstoff befindet sich bei Zimmertemperatur und Druck p_0 in einem verschlossenen Behälter mit dem Volumen V . Welche Wärmemenge muss dem Gas zugeführt werden, um den Druck zu verdreifachen? Drücken Sie die Lösung in Abhängigkeit von p_0 und V aus. Hinweis: Mit wie vielen Freiheitsgraden müssen Sie bei Zimmertemperatur rechnen? Die Zahl der Freiheitsgrade und damit auch Wärmekapazität ändere sich in diesem Temperaturbereich nicht.

12.2 Modellprozess für Diesel-Motor (10 Punkte)

Ein ideales Gas mit dem Anfangsvolumen V_1 und dem Anfangsdruck p_1 wird adiabatisch auf das Volumen V_2 und den Druck p_2 komprimiert, wozu Arbeit nötig ist. Sodann expandiert das Gas unter Wärmezufuhr bei konstantem Druck, bis das Volumen V_3 erreicht ist. Im dritten Schritt erfolgt eine adiabatische Expansion auf das Volumen $V_4 = V_1$. Der letzte Schritt besteht aus einer Abkühlung bei konstantem Volumen V_1 , bis die Anfangstemperatur T_1 und Anfangsdruck p_1 erreicht ist.

- Skizzieren Sie diesen Prozess in einem p - V -Diagramm.
- Berechnen Sie die notwendige Wärmemenge, die Arbeit und die Änderung der inneren Energie für jedes Teilstück.
- Berechnen Sie den Wirkungsgrad dieser Maschine und zeigen Sie, dass sich das Ergebnis in der folgenden Form schreiben lässt:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma \cdot (V_1/V_2)^{\gamma-1}} \cdot \frac{(V_3/V_2)^\gamma - 1}{(V_3/V_2) - 1}.$$

Hierbei ist $\gamma = c_p/c_V$ der Adiabaten-Exponent. Hinweis: Ersetzen Sie im Resultat für η die Temperaturverhältnisse durch die Kompressionsverhältnisse V_2/V_1 und V_3/V_2 . Benutzen Sie die Adiabatengleichungen.

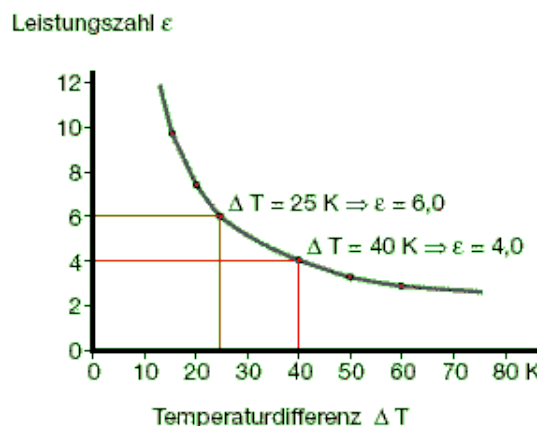
Anmerkung: Der Unterschied zu dem in der Vorlesung behandelten Modellprozess für den Otto-Motor besteht darin, dass die Wärmemenge hier erst nach der Kompression bei hohem Druck zugeführt wird. In einen Diesel-Motor wird Kraftstoff eingespritzt, der zum großen Teil erst während der Expansionsphase verbrannt wird. Der Diesel-Motor entspricht daher eher dem hier behandelten Kreisprozess.

12.3 Wärmepumpe (10 Punkte)

In der Diskussion über mögliche Energieeinsparung werden öfters elektrisch betriebene Wärmepumpen als sinnvolle Alternative zu herkömmlichen Heizkesseln genannt. Im folgenden sollen hierzu einige Abschätzungen durchgeführt werden. Gehen Sie dabei von

folgender Annahme aus: Bei einer Außentemperatur von $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ soll Wasser für die Fußbodenheizung auf $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ erhitzt werden. Vergleichen Sie den primären Energiebedarf einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe, die von einem Kohlekraftwerk gespeist wird, mit dem Energiebedarf bei der direkten Verfeuerung von Kohle in einem Heizkessel.

- Berechnen Sie den theoretisch maximal möglichen Einsparungsfaktor für die Primärenergie (Kohle), wenn statt des Kohleheizkessels die elektrisch betriebene Wärmepumpe zum Heizen verwendet wird. Gehen Sie dabei davon aus, dass in einem Kohlekraftwerk die großtechnisch noch beherrschbare Dampftemperatur $580\text{ }^{\circ}\text{C}$, die Temperatur im Kondensator $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ beträgt und die Leistung der Dampfturbine vollständig in elektrische Energie umgesetzt wird. Die Kohleheizkessel sollen in beiden Fällen einen idealen Wirkungsgrad von 100% haben.
- Berechnen Sie die heute technisch mögliche Energieeinsparung. Der Wirkungsgrad moderner Kohlekraftwerke liegt bei 43% . Berücksichtigen Sie, dass etwa 15% der Energie bei der Verteilung des Stroms vom Kraftwerk zum Endverbraucher verloren geht. Die Leistungszahl heute im Einsatz befindlicher Wärmepumpen zeigt die Grafik. Berücksichtigen Sie ebenfalls, dass der Wirkungsgrad eines konventionellen Kohleheizkessels nicht 100% beträgt. Durch den Schornstein geht Wärmeenergie verloren. Zur Abschätzung des Wirkungsgrades der Kohleheizkessel gehen Sie von folgenden Annahmen aus: Die Abgastemperatur beträgt $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ und der Heizkessel saugt doppelt so viel Luft (Mischung aus 80% N_2 und 20% O_2) mit $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ an, wie aufgrund des Sauerstoffanteils zur vollständigen Verbrennung der Kohle (Kohle verbrennt vollständig zu CO_2 : $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$) notwendig wäre. Überlegen Sie sich Menge, die Zusammensetzung und die Wärmekapazität des Abgases. Der Brennwert von Kohle beträgt $8,72\text{ kWh/kg}$. Andere notwendige Stoffeigenschaften können Sie der einschlägigen Literatur entnehmen.



12.4 Entropie (10 Punkte)

Bei einem Experiment wird ein Aluminiumwürfel mit einer Masse von 200 g ($T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, spezifische Wärme $c = 900\text{ J/kgK}$) in einem isolierten Behälter mit 50 g Wasser ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, spezifische Wärme $c = 4190\text{ J/kgK}$) in Kontakt gebracht.

- Welche Gleichgewichtstemperatur stellt sich ein?
- Wie ändert sich die Entropie der Aluminiumprobe?
- Wie ändert sich die Entropie des Wassers?
- Wie ändert sich die Entropie des Gesamtsystems?