

# Übungsblatt

## Experimentalphysik II - Ferienkurs

Andreas Schindewolf

### 1 Random Kreisprozess

Ein Mol eines 1-atomigen idealen Gases durchlaufe den dargestellten reversiblen Kreisprozess (siehe Abbildung 1). Es seien  $p_b = 10,1 \text{ bar}$  und  $V_b = 1 \text{ l}$ .

Berechnen Sie

- die dem Gas in Form von Wärme zugeführte Energie,
- die von dem Gas in Form von Wärme abgegebene Energie,
- die von dem Gas geleistete Gesamtarbeit und
- den Wirkungsgrad des Kreisprozesses.

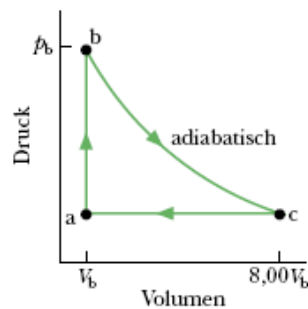


Abbildung 1:  $p$ - $V$ -Diagramm des reversiblen Kreisprozesses.

### 2 Dieselmotor

Bei dem Kreisprozess, der die Vorgänge in einem Dieselmotor modelliert, wird ein ideales Gas zuerst adiabatisch komprimiert, dann bei konstantem Druck expandiert, dann adiabatisch expandiert und schließlich bei konstantem Volumen abgekühlt (also  $V_4 = V_1$ ).

Um eine konkrete Rechnung durchführen zu können sei das Arbeitsmedium durch Luft idealisiert, die Anfangstemperatur  $T_1 = 288 \text{ K}$  und der Anfangsdruck Atmosphärendruck. Die erreichte Höchsttemperatur sei  $T_3 = 2273 \text{ K}$ , des weiteren gelte  $\frac{V_1}{V_2} = 21$ .

- Machen Sie eine Skizze des  $p$ - $V$ -Diagramm.
- Wie groß sind Drucke und Temperaturen an den Endpunkten der Teilprozesse?
- Wie groß ist  $\frac{V_3}{V_2}$ , das sogenannte Einspritzverhältnis?
- Wie groß ist der thermische Wirkungsgrad  $\eta$  dieser Konfiguration?
- Wie groß wäre der Wirkungsgrad  $\eta$  eines Carnotprozess bei den selben Temperaturen gewesen?

### 3 Otto-Prozess

Die in einem Benzinmotor ablaufenden Vorgänge können durch den sogenannten Otto-Prozess idealisiert dargestellt werden. Dieser ist ein Kreisprozess, bei dem ein ideales Gas (das als 2-atomig angenommen werden soll) als Arbeitsmedium vier Schritte durchläuft:

1. Adiabatische Kompression,
  2. isochore Erwärmung,
  3. adiabatische Expansion,
  4. isochore Abkühlung.
- a) Zeichnen Sie das zugehörige  $p$ - $V$ -Diagramm.
- b) Es seien der minimale Druck  $p_<$ , der maximale Druck  $p_>$  und das minimale bzw. maximale Volumen  $V_<$  bzw.  $V_>$  gegeben. Berechnen Sie die Drücke an den Enden der adiabatischen Prozessabschnitte.
- c) Berechnen Sie die Nettoarbeit, die von dem System während eines Zyklus verrichtet wird.
- d) Zeigen Sie, dass der Wirkungsgrad des Otto-Prozesses durch  $\eta = 1 - r^{-\frac{2}{5}}$  gegeben ist, wobei  $r := \frac{V_>}{V_<}$  die Verdichtung ist.
- e) Berechnen Sie die Leistung eines Otto-Motors mit einer Verdichtung von  $r = 10$ , einem Hubraum  $V_> - V_< = 1$  Liter, und einem Minimal- bzw. Maximaldruck von 200 kPa (etwa doppelter Atmosphärendruck) bzw. 10 MPa (etwa hundertfacher Atmosphärendruck) bei einer Drehzahl von 3000 Umdrehungen pro Minute. Beachten Sie dabei, dass im Otto-Motor nur in jedem zweiten Zyklus eine Zündung stattfindet und Arbeit geliefert wird.

### 4 Kernkraftwerk

Ein Kernkraftwerk erzeugt eine elektrische Leistung von 900 MW, seine Reaktortemperatur beträgt  $390^\circ\text{C}$  und ein Fluss mit der Wassertemperatur  $20^\circ\text{C}$  dient als Wärmesenke. Wie groß ist der maximal mögliche theoretische Wirkungsgrad des Kraftwerks und wie groß ist die minimale Wärmeleistung, die an der Fluss abgegeben werden muss? Wie groß ist die Temperaturerhöhung im Fluss, wenn der tatsächliche Wirkungsgrad 60% des maximal möglichen ist und der Wasserstrom im Fluss  $165 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  beträgt? (Die spezifische Wärmekapazität von Wasser beträgt  $4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$ )

### 5 Kaffee mit Milch

Ein Physikstudent hat gelernt, dass bei jeder Temperaturangleichung eines heißen mit einem kalten System die Unordnung der Welt zunimmt. Seither hat er beim Kaffeetrinken ein schlechtes Gewissen, wenn er kalte Milch hinzugibt. Er will nun wissen, wie viel Entropie er pro Kaffee erzeugt, um zu entscheiden, ob er das mit seinem Gewissen vereinbaren kann.

- a) Wie viel Entropie erzeugt der Student also, wenn er 200 ml Kaffee (200 ml  $90^\circ\text{C}$  warmes Wasser) mit 50 ml Milch (50 ml  $5^\circ\text{C}$  warmem Wasser) mischt? Wir nehmen vereinfachend an, dass ein zeitlich konstanter Wärmestrom  $\dot{Q}$  vom Kaffee in die Milch fließt und die Temperaturangleichung nach einer bestimmten Zeit  $\Delta t$  abgeschlossen ist.
- b) Welchen unter Umständen noch größeren Entropieerzeugungsprozess bei der Mischung von Kaffee mit Milch hat der Student vergessen?

## 6 Mischung zweier thermischer Systeme

Betrachten Sie ein thermisch isoliertes System des Gesamtvolumens  $3V$ , in dem eine thermisch leitfähige Wand die Volumina  $V$  und  $2V$  voneinander trennt. Im größeren Volumen herrsche der Druck  $3p$ , während im kleineren Volumen der Druck  $p$  herrsche. Die Temperatur  $T$  sei in beiden Teilvolumina gleich. Die Trennwand werde nun entfernt. Berechnen Sie die gesamte innere Energie, die gesamte Änderung der Entropie sowie Temperatur und Druck des Gases, nachdem sich das Gleichgewicht eingestellt hat.

## 7 Entropie komprimierten Gases

Betrachten Sie ein 1-atomiges ideales Gas, das in einem Zylinder mit beweglichem Kolben eingeschlossen ist. Das Volumen des Gases sei  $V_1$ , sein Druck  $p_1$  und seine Temperatur sei gleich der Umgebungstemperatur  $T_U$ . Nun wird der Kolben in den Zylinder bewegt und das Gas isotherm auf das Volumen  $V_2$  komprimiert. Um wie viel hat sich die Entropie des Gases durch die Kompression verändert? Um wie viel hat sich die Entropie der Umgebung dabei verändert?

Ist die Kompression reversibel oder irreversibel? (Diese Fragen sollen beantwortet werden, ohne die fertige Formel für die Entropie des idealen Gases zu verwenden.)

## 8 Coole Drinks

Zwei 50 g-Eiswürfel werden zu 200 g Wasser in einem wärmeisolierten Behälter gegeben. Das Wasser hat eine Temperatur von  $25^\circ\text{C}$  und das Eis kommt direkt aus dem  $-15^\circ\text{C}$  kalten Tiefkühlfach.

1. Welche Temperatur stellt sich schließlich ein?
2. Welche Temperatur erreicht das Wasser, wenn nur ein Eiswürfel verwendet wird?

Wärmekapazitäten: Wasser  $c_W = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$ , Eis  $c_{Eis} = 2220 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$ , Latente Schmelzwärme von Wasser beim Schmelzpunkt:  $\lambda_s = 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ .