

Übung 7

Ausgabe: 13.11.2017

Abgabe: 21.11.2017

Aufgabe 1: Kühlschränke

In einem reversibel arbeitenden Kühlschrank werden pro 100 kJ Energie, die dem Innern des Kühlschranks entzogen werden, 130 kJ an die Aussenwelt (Temperatur $T = 20^\circ\text{C}$) abgegeben.

- Was ist die Temperatur im Innern des Kühlschranks?
- Wieviel Arbeit muss geleistet werden, um dem Innern 50 kJ Wärme zu entziehen?
- Wie ändert sich die Effizienz des Kühlschranks, wenn sich die Aussentemperatur an einem heissen Sommertag von 20°C auf 30°C erhöht?
- Welche Ähnlichkeiten bzw. Unterschiede sehen Sie in der Funktionsweise von Kühlschränken und von Wärmepumpen?

Aufgabe 2: Das Herz als thermodynamische Maschine

Muscles are engines which, like the steam engine and the internal combustion engine, use energy stored in chemical fuel to generate mechanical movement.

Richard Dawkins

Das Herz verändert wie eine Pumpe kontinuierlich den Druck, den es auf unser Blut ausübt. Während der Diastole, auch Entspannungs- und Füllphase genannt, fliesst Blut in die Herzkammer, welches während der Systole wieder aus der Kammer herausgepresst wird. Ähnlich wie die Arbeit eines Verbrennungsmotors können wir das Herz als thermodynamisches System behandeln und die Arbeit des Herzens mittels eines p-V-Diagramms darstellen (Abbildung 2-1).

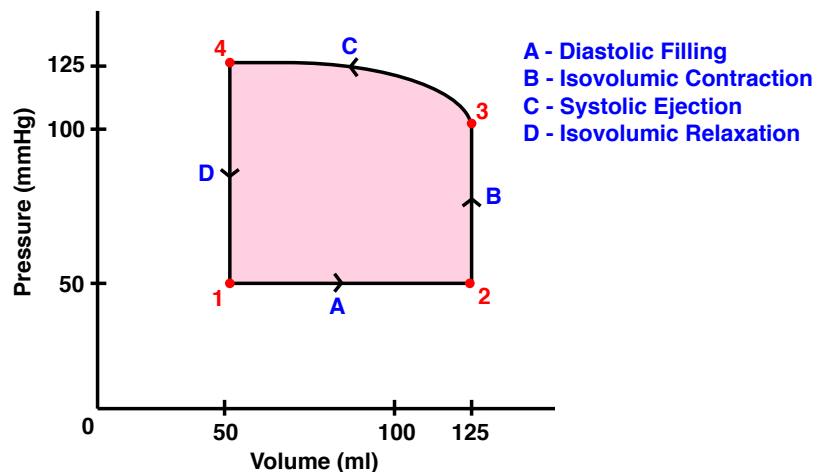


Abbildung 2-1: p-V-Diagramm für die linke Herzkammer

Im Folgenden untersuchen wir einen Menschen mit den folgenden Merkmalen: Körpermasse $m_K = 80 \text{ kg}$, als Wasser anzunehmen; Blutvolumen $V_B = 5 \text{ L}$ mit einer Dichte $\rho_B = 1 \text{ kg/L}$; Körpertemperatur $T_K = 37^\circ\text{C}$; Herzfrequenz (Puls) $f_H = 60 \text{ Schläge/min}$. Es wird angenommen, dass alle involvierten Prozesse reversibel sind.

- Geben Sie die Formel für die Volumenarbeit an.
- Berechnen Sie ausgehend von den Angaben in obigem p-V-Diagramm die ungefähre Volumenarbeit des Herzens über einen Zyklus (Tipp: Vereinfachen Sie den Zyklus im pV-Diagramm zu einem Viereck)
- Was ist ungefähr die Leistung des Herzens?
- Das Herz benötigt für eine normale Funktion durchschnittlich 2 Joule pro Schlag. Wie effizient verrichtet das Herz seine Aufgabe?
- Wieviel Wärme muss vom Herzen pro Tag abgeführt werden, um seine Aufgabe zu erfüllen?
- Nehmen wir an, dass diese Wärme durch die Verdunstung von Schweiß (Wasser) abgeführt wird. Welches Volumen an Schweiß muss der Körper pro Tag abgeben, um diese Wärme abzuführen?
- Wie wäre die Temperatur des Blutes nach einem Tag, falls nur dieses die Wärme aufnehmen könnte?

Als Vereinfachung des komplizierten Metabolismus nehmen wir an, dass die Energie aus der Verbrennung von Glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) gewonnen wird. Verwenden Sie die Werte in Tabelle 2.1 für die folgenden Aufgaben.

- Geben Sie die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Glucose an.
- Berechnen Sie die durch die Verbrennung von 1 g Glucose freigesetzte Wärme unter Standardbedingungen ($T=25^\circ\text{C}$ und $p = 1 \text{ bar}$).
- Berechnen Sie die im menschlichen Körper durch Verbrennung von 1 g Glucose freigesetzte Wärme.
- Berechnen Sie die Gibb'sche freie Reaktionsenthalpie der Reaktion im menschlichen Körper. (Beachte: Die Theorie der notwendigen Formeln werden erst später in der Vorlesung besprochen.)
- Wieviel Zucker benötigt das Herz pro Tag, um seine Aufgabe zu erfüllen?

Tabelle 2.1: Thermodynamische Grössen

spezifische Wärmekapazität von Wasser	$c_{p,\text{H}_2\text{O}}$	$4190 \frac{\text{J}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$
molare Wärmekapazität von Glucose	$C_{p,\text{Glucose}}$	$218.6 \frac{\text{J}}{\text{K}\cdot\text{mol}}$
molare Wärmekapazität von Sauerstoff	C_{p,O_2}	$29.4 \frac{\text{J}}{\text{K}\cdot\text{mol}}$
molare Wärmekapazität von Kohlenstoffdioxid	C_{p,CO_2}	$38.4 \frac{\text{J}}{\text{K}\cdot\text{mol}}$
Standardbildungsenthalpie von $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$\Delta_f H_{\text{H}_2\text{O}}^\circ$	$-285.8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
Standardbildungsenthalpie von $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$	$\Delta_f H_{\text{Glucose}}^\circ$	$-1273.3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
Standardbildungsenthalpie von $\text{CO}_2(\text{g})$	$\Delta_f H_{\text{CO}_2}^\circ$	$-393.5 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
Standardentropie von $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$s_{\text{H}_2\text{O}}^\circ$	$69.9 \frac{\text{J}}{\text{K}\cdot\text{mol}}$
Standardentropie von $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$	s_{Glucose}°	$209.2 \frac{\text{J}}{\text{K}\cdot\text{mol}}$
Standardentropie von $\text{O}_2(\text{g})$	$s_{\text{O}_2}^\circ$	$205 \frac{\text{J}}{\text{K}\cdot\text{mol}}$
Standardentropie von $\text{CO}_2(\text{g})$	$s_{\text{CO}_2}^\circ$	$213.6 \frac{\text{J}}{\text{K}\cdot\text{mol}}$
spezifische Verdampfungsenthalpie von Wasser	$\Delta_v H_{\text{H}_2\text{O}}^\circ$	$2257 \frac{\text{J}}{\text{g}}$

Aufgabe 3: Heizen eines Chalets

Eine Forschungsgruppe möchte im Winter eine Tagung in einem Chalet in Graubünden durchführen. Nun ist das Chalet jedoch den ganzen Herbst unbewohnt und daher nicht geheizt. Bei Ankunft der Gruppe, beginnt man nun mit dem Aufheizen und möchte eine Temperatur von $T_1 = 19^\circ\text{C}$ erreichen. Die Aussentemperatur beträgt $T_0 = 0^\circ\text{C}$. Die Wärmekapazität des Chalets beträgt $c_p = 1.2 \cdot 10^8 \text{ J K}^{-1}$.

- a) Berechnen sie die Heizdauer, wenn man eine reversibel arbeitende Wärmepumpe zum Aufheizen des Chalets benutzen würde. Diese Pumpe besitzt eine maximale Arbeitsleistung von $P = 7 \text{ kW}$.
- b) Wie lange würde es dauern, die Temperatur des Chalet von $T_1 = 19^\circ\text{C}$ auf $T_2 = 20^\circ\text{C}$ steigen zu lassen, wenn man annimmt, dass 10 Forscher jeweils $P_m = 126 \text{ W}$ als Wärme abgeben, wenn sie entspannt, aber interessiert einem Vortrag lauschen? Wieviel Käsefondue muss jeder Forscher essen, um den Energieverlust wieder auszugleichen (100g Käsefondue haben etwa 300 kcal)?