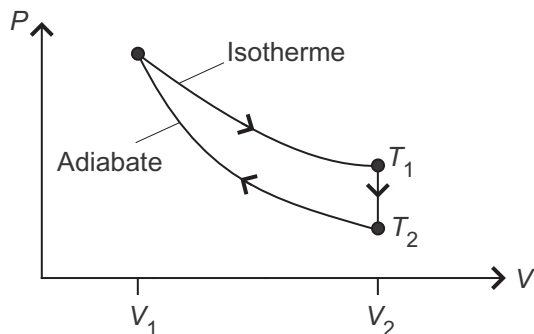


**Aufgabe 20: Adiabatische Zustandsänderung****(schriftlich, 6 Punkte)**

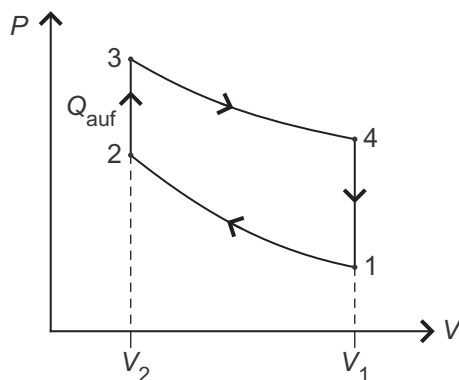
Das van der Waals-Gas aus Aufgabe 18 durchlaufe den in der Abbildung dargestellten Kreisprozess, der aus einer isothermen Expansion bei  $T_1 = 20\text{ °C}$  von  $V_1 = 0,5\text{ m}^3$  nach  $V_2 = 1\text{ m}^3$ , einer isochoren Abkühlung und einer adiabatischen Kompression besteht. Berechnen Sie die dabei geleistete Arbeit  $W$ .

*Hinweise:*

- i) Nutzen Sie aus, dass für einen Kreisprozess  $\Delta U = 0$  ist und berechnen Sie  $Q$ .
- ii) Sie können natürlich die Ergebnisse von Aufgabe 19 benutzen.

**Aufgabe 21: Otto-Prozess****(schriftlich, 6 Punkte)**

In einem Otto-Motor wird die chemische Energie eines Benzin-Luft-Gemisches durch Verbrennung in mechanische Arbeit umgewandelt. Dabei wird zunächst das Gemisch angesaugt, dann komprimiert, anschließend gezündet und sehr schnell verbrannt. Das sich ausdehnende Gas leistet Arbeit gegen den Kolben und wird danach durch ein Ventil ausgestoßen. Idealisiert lässt sich dieser Vorgang durch den skizzierten Kreisprozess für ein ideales zweiatomiges Gas beschreiben, bei dem die bei der Verbrennung intern freiwerdende Wärme auf dem Wegstück  $2 \rightarrow 3$  als von außen zugeführt angenommen wird. Die Wegstücke  $1 \rightarrow 2$  und  $3 \rightarrow 4$  werden adiabatisch durchlaufen. Bestimmen Sie den Wirkungsgrad dieses Kreisprozesses als Funktion des Verhältnisses  $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$ .

**Aufgabe 22: Wärmepumpe****(schriftlich, 4 Punkte)**

Ein Raum wird durch eine Wärmepumpe geheizt. Die Wärmepumpe entnimmt dazu einem Wasserreservoir von  $0\text{ °C}$  Wärme und gibt sie in den Raum, der eine Temperatur von  $20\text{ °C}$  hat, ab. Dabei erstarren im Wärmereservoir  $100\text{ kg}$  Wasser zu Eis von  $0\text{ °C}$ . Die Wärmepumpe habe den größtmöglichen (Carnot'schen) Wirkungsgrad. Die Schmelzwärme von Eis beträgt  $Q_{\text{fest} \rightarrow \text{fl}} = 334\text{ J/g}$ .

- a) Welche Wärmemenge wird zu dem Raum transportiert?
- b) Welche mechanische Arbeit ist dazu notwendig?

**Aufgabe 23: Gebäudeheizung****(mündlich, 12 Punkte)**

Ein Gebäude mit einer erforderlichen Heizleistung von 10 kW soll im Winter mittels einer Wärmepumpe, die durch eine Wärmekraftmaschine angetrieben wird, geheizt werden. Die Wärmekraftmaschine führe einen Carnot-Prozess aus, bei dem die Wärmezufuhr bei 700 °C und die Wärmeabfuhr bei 35 °C erfolgt. Die dabei freiwerdende Arbeit werde vollständig zum Betrieb der Wärmepumpe verwendet. Diese führe ebenfalls einen Carnot-Prozess aus, bei dem die Wärmezufuhr bei 3 °C und die Wärmeabfuhr bei 35 °C erfolgt. Die abgegebene Wärme werde in beiden Fällen zur Raumheizung verwendet.

- Wie groß ist der Wärmestrom (Wärme pro Zeit), der der Wärmekraftmaschine zuzuführen ist?
- Welche Leistung muss der Wärmepumpe zugeführt werden, wenn diese alleine zur Gebäudeheizung verwendet wird?
- Die unter b) berechnete Leistung soll durch die Wärmekraftmaschine erzeugt werden (ohne deren Abwärme zur Gebäudeheizung zu nutzen). Wie groß ist in diesem Fall der zuzuführende Wärmestrom?
- Die Heizung soll ausschließlich durch elektrischen Strom, der von der Wärmekraftmaschine als Arbeit erzeugt wird, betrieben werden. Welchen Wärmestrom nimmt die Maschine dabei auf?
- Diskutieren Sie den „Wärmeaufwand“ für die verschiedenen Arten der Heizung.

**Aufgabe 24: Entropie****(schriftlich, 4 Punkte)**

Zwei Eisenwürfel einer Masse  $m$  von je 1 kg mit den Temperaturen  $T_1 = 100$  °C und  $T_2 = 0$ °C berühren sich längs einer Würfelfläche; sie sind sonst nach außen völlig wärmeisoliert. Zeigen Sie, dass dem eintretenden Wärmeaustausch (der nicht reversibel ist) eine Zunahme der Entropie  $\Delta S$  des Systems entspricht und berechnen Sie diese!

(Spezifische Wärmekapazität von Fe:  $c_P = 0,46$  J/gK)

**Aufgabe 25: Fundamentalrelation****(mündlich, 8 Punkte)**

Die Entropie eines idealen Gases hat die Form

$$S(U, V, N) = N \left\{ \frac{S_0}{N_0} + \frac{3}{2} k_B \ln \left( \frac{U}{U_0} \frac{N_0}{N} \right) + k_B \ln \left( \frac{V}{V_0} \frac{N_0}{N} \right) \right\} .$$

Leiten Sie aus  $S(U, V, N)$  mit Hilfe der Hauptsätze die Ihnen vertraute thermische und kalorische Zustandsgleichung des idealen Gases ab. Berechnen Sie die Fundamentalrelation  $U(S, V, N)$  für dieses System.