

## Aufgaben 9      Thermodynamik Carnot-Kreisprozess

### Lernziele

- wissen und verstehen, was reversible und irreversible Prozesse sind.
- wissen, dass bei einem irreversiblen Prozess Energie dissipiert, d.h. Entropie erzeugt wird.
- den Carnot-Kreisprozess kennen, verstehen und analysieren können.
- Energiegrößen in einem Carnot-Kreisprozess bestimmen können.
- wissen und verstehen, wovon der Carnot-Wirkungsgrad einer idealen Wärme-Kraft-Maschine bzw. die Carnot-Leistungsziffer einer idealen Wärme-/Kältemaschine abhängt.
- wissen, dass der Carnot-Wirkungsgrad bzw. die Carnot-Leistungsziffer der theoretische Höchstwert für den Wirkungsgrad bzw. die Leistungsziffer einer thermischen Maschine ist.
- Wirkungsgrade bzw. Leistungsziffern von realen thermischen Maschinen mit dem Carnot-Wirkungsgrad bzw. der Carnot-Leistungsziffer vergleichen können.

### Aufgaben

#### 9.0 (Nachtrag zum 2. Hauptsatz)

Für den Wirkungsgrad einer Wärme-Kraft-Maschine bzw. die Leistungsziffer einer Wärme-/Kältemaschine gelten die folgenden Beziehungen:

$$\text{Wärme-Kraft-Maschine: } \eta = \frac{\Delta W}{Q_w}$$

$$\text{Wärmemaschine: } \varepsilon = \frac{Q_w}{\Delta W}$$

$$\text{Kältemaschine: } \varepsilon = \frac{Q_k}{\Delta W}$$

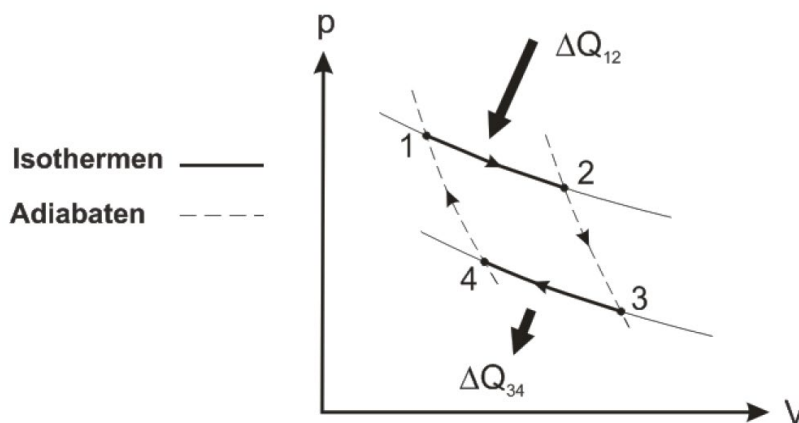
Zeigen Sie, dass diese Größen auch durch die ausgetauschten Wärmen  $Q_w$  und  $Q_k$  allein wie folgt ausgedrückt werden können:

$$\text{Wärme-Kraft-Maschine: } \eta = 1 - \frac{Q_k}{Q_w}$$

$$\text{Wärmemaschine: } \varepsilon = \frac{1}{1 - \frac{Q_k}{Q_w}}$$

$$\text{Kältemaschine: } \varepsilon = \frac{1}{\frac{Q_w}{Q_k} - 1}$$

#### 9.1 Betrachten Sie den Carnot-Kreisprozess eines idealen Gases als Modell für eine ideale Wärme-Kraft-Maschine (siehe Unterricht):



(Fortsetzung siehe nächste Seite)

Die folgenden Grössen seien bekannt:  $T_w (= T_1 = T_2)$ ,  $T_k (= T_3 = T_4)$ ,  $\frac{V_2}{V_1}$ ,  $n$ ,  $C_V$ ,  $\kappa$

- a) Drücken Sie die angegebenen Energiegrössen durch die bekannten Grössen aus. Geben Sie jeweils auch das Vorzeichen ( $< 0$ ,  $= 0$ ,  $> 0$ ) an.
- i) Teilprozess 1  $\rightarrow$  2: Isotherme Expansion  
 $\Delta U_{12}$ ,  $\Delta Q_{12}$ ,  $\Delta W_{12}$
  - ii) Teilprozess 2  $\rightarrow$  3: Adiabatische Expansion  
 $\Delta U_{23}$ ,  $\Delta Q_{23}$ ,  $\Delta W_{23}$
  - iii) Teilprozess 3  $\rightarrow$  4: Isotherme Kompression  
 $\Delta U_{34}$ ,  $\Delta Q_{34}$ ,  $\Delta W_{34}$
  - iv) Teilprozess 4  $\rightarrow$  1: Adiabatische Kompression  
 $\Delta U_{41}$ ,  $\Delta Q_{41}$ ,  $\Delta W_{41}$
  - v) Ganzer Kreisprozess  
 $\Delta U_{\text{tot}} (= \Delta U_{12} + \Delta U_{23} + \Delta U_{34} + \Delta U_{41})$   
 $\Delta Q_{\text{tot}} (= \Delta Q_{12} + \Delta Q_{23} + \Delta Q_{34} + \Delta Q_{41})$   
 $\Delta W_{\text{tot}} (= \Delta W_{12} + \Delta W_{23} + \Delta W_{34} + \Delta W_{41})$   
 $Q_w, Q_k$   
 $\Delta W (= |\Delta W_{\text{tot}}|)$
- b) Bestimmen Sie den Carnot-Wirkungsgrad  $\eta_{\text{Carnot}}$  einer idealen **Wärme-Kraft-Maschine**.  
Drücken Sie  $\eta_{\text{Carnot}}$  durch  $T_w$  und  $T_k$  aus, und geben Sie den theoretisch möglichen Wertebereich von  $\eta_{\text{Carnot}}$  für  $0 < T_k < T_w$  an.
- Wenn der Carnot-Kreisprozess in umgekehrter Richtung durchlaufen wird, beschreibt er eine ideale Wärme- bzw. Kältemaschine.
- c) Bestimmen Sie die Carnot-Leistungsziffer  $\varepsilon_{\text{Carnot}}$  einer idealen **Wärmemaschine**.  
Drücken Sie  $\varepsilon_{\text{Carnot}}$  durch  $T_w$  und  $T_k$  aus, und geben Sie den theoretisch möglichen Wertebereich von  $\varepsilon_{\text{Carnot}}$  für  $0 < T_k < T_w$  an.
- d) Bestimmen Sie die Carnot-Leistungsziffer  $\varepsilon_{\text{Carnot}}$  einer idealen **Kältemaschine**.  
Drücken Sie  $\varepsilon_{\text{Carnot}}$  durch  $T_w$  und  $T_k$  aus, und geben Sie den theoretisch möglichen Wertebereich von  $\varepsilon_{\text{Carnot}}$  für  $0 < T_k < T_w$  an.

9.2 Studieren Sie im Lehrbuch Tipler/Mosca die folgenden Beispiele:  
16.2, 16.3, 16.4 (Seiten 624 bis 626)

9.3 Bearbeiten Sie im Arbeitsbuch Mills zu Tipler/Mosca die folgenden Aufgaben:  
16.17, 16.19, 16.20 (Seiten 287 und 288)

9.4 In den Aufgaben 8.4 f) und 8.5 e) haben Sie Ausdrücke für den Wirkungsgrad des Otto- und des Diesel-Prozesses hergeleitet.

Andererseits ist der Carnot-Wirkungsgrad  $\eta_{\text{Carnot}}$  einer idealen Wärme-Kraft-Maschine gegeben durch

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_k}{T_w}$$

Vergleichen Sie den Carnot-Wirkungsgrad sowohl mit dem in der Aufgabe 8.4 f) bzw. 8.5 e) hergeleiteten Wirkungsgrad als auch mit dem realen Wirkungsgrad eines ...

- a) ... Otto-Motors.
- b) ... Diesel-Motors.

Hinweise: (siehe nächste Seite)

Hinweise:

- Verwenden Sie die in den Aufgaben 8.4 f) und 8.5 e) hergeleiteten Ausdrücke für die Wirkungsgrade.
- Schlagen Sie Zahlenwerte für Temperaturen, Verdichtungsverhältnisse und reale Wirkungsgrade in der folgenden Quelle nach: [Leifi-Physik: Vergleich Otto-/Diesel-Motor](#)
- Nehmen Sie an, dass das betrachtete Gas im Kolben ein 2-atomiges ideales Gas ist.

- 9.5 Eine gute Wärme-/Kältemaschine (Bsp.: Wärmepumpe, Kühlschrank) hat einen COP zwischen 3 und 5. Vergleichen Sie diesen Wert mit der Carnot-Leistungsziffer ...
- ... einer Wärmepumpe mit Erdwärme als Wärmequelle.
  - ... einer Wärmepumpe mit Aussenluft als Wärmequelle.
  - ... eines Kühlschranks.

Hinweis:

- Treffen Sie realistische Annahmen für die entsprechenden Temperaturwerte.

- 9.6 Ein Kühlschrank mit einem angenommenen COP von 3 benötigt gemäss Hersteller 120 kWh elektrische Energie pro Jahr.
- Bestimmen Sie den zeitlichen Mittelwert der Wärme, welche pro Sekunde ...
- ... dem Innenraum des Kühlschranks entzogen wird.
  - ... an den Aussenraum abgegeben wird.

- 9.7 Bearbeiten Sie im Arbeitsbuch Mills zu Tipler/Mosca die folgenden Aufgaben:  
16.21, 16.29 (Seite 288)

- 9.8 Führen Sie in Moodle den [Test 9.1](#) durch.

## Lehrbuch Tipler/Mosca

### Teil IV Thermodynamik

#### 16 Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik

- 16.3 Der Carnot'sche Kreisprozess (Seiten 621 bis 626)
- 16.4 Wärmepumpen (Seiten 626 und 627)