

Aufgaben 13 Thermodynamik Entropie, Entropietransport, -erzeugung, -bilanz, Temperatur

Lernziele

- die Entropie als mengenartige Grundgrösse der Thermodynamik verstehen.
- wissen, dass Entropie in einem Körper gespeichert werden kann.
- wissen, dass Entropie in einen Körper hinein oder aus ihm heraus fließen kann.
- wissen und verstehen, wie eine Wärmepumpe grundsätzlich funktioniert.
- wissen, dass Entropie erzeugt, jedoch nicht vernichtet werden kann.
- wissen und verstehen, dass sich unumkehrbare Vorgänge dadurch auszeichnen, dass dabei Entropie erzeugt wird.
- die Entropiebilanz anwenden können.
- den Unterschied zwischen den Grössen Entropie und Temperatur verstehen.
- eine Temperaturdifferenz als Antrieb eines Entropiestromes verstehen.
- wissen und verstehen, dass es einen absoluten Temperaturnullpunkt gibt.
- den Zusammenhang zwischen der absoluten Temperaturskala, der Celsius-Temperaturskala und der Fahrenheit-Temperaturskala kennen und verstehen.

Aufgaben

13.1 Vorgängiges Selbststudium

- a) Studieren Sie im Buch KPK 2 die folgenden Abschnitte:
- Einleitung zum Kapitel „1. Wärmelehre“ (Seite 5)
 - 1.1 Entropie und Temperatur (Seiten 5 und 6)
 - 1.2 Der Temperaturunterschied als Antrieb für einen Entropiestrom (Seiten 7 und 8)
 - 1.3 Die Wärmepumpe (Seiten 8 und 9)
 - 1.4 Die absolute Temperatur (Seiten 9 und 10)
 - 1.5 Entropieerzeugung (Seite 10 bis 13, ohne Aufgaben)
 - 1.6 Die Entropiestromstärke (Seite 13)

Bemerkung zu 1.1:

- Die Definition der sogenannten „Normaltemperatur“ ist in der Literatur nicht einheitlich: Im Buch KPK 2 werden 25 °C als Normaltemperatur festgelegt. Häufig wird jedoch auch 0 °C als Normaltemperatur definiert.

- b) Führen Sie in Moodle den [Test 13.1](#) durch.

13.2 Beantworten Sie die folgenden Fragen:

- a) Wie ändern sich die im System gespeicherte Entropie und die Temperatur des Systems bei den folgenden Prozessen?
- i) Schmelzen von Eis
 - ii) Kondensieren von Wasserdampf
 - iii) Heizen eines Steins
- b) Wie ändern sich die in einer Menge Wasser gespeicherte Entropie und die Temperatur des Wassers, wenn man die Wassermenge in zwei Teile trennt?
- c) Welche Bedeutung hat eine Temperaturdifferenz bei thermischen Prozessen?
- d) Wenn aus einem Körper 10 Ct Entropie fließen, heisst das dann, dass sich die im Körper gespeicherte Entropie um 10 Ct verringert hat?

13.3 (siehe nächste Seite)

- 13.3 Aus dem Innenraum eines Hauses fliesst ständig Entropie über die Wände ab. Die über eine Beobachtungszeit von 1 h (= 3600 s) gemittelte Stärke des entsprechenden Entropiestromes beträgt 10.0 Ct/s.

Bestimmen Sie, um wieviel sich die im Innenraum des Hauses gespeicherte Entropie in der betrachteten Zeitspanne verändert hat.

- 13.4 In einem Behälter wird mit einem Tauchsieder Wasser erwärmt. Die Entropieerzeugungsrate beträgt $\Pi_S = 1.30$ Ct/s. Wegen Wärmeverlusten fliesst über die Behälterwand Entropie ab. Die durch diese Wärmeverluste bedingte Entropiestromstärke I_S steigt während 100 s linear von 0.100 Ct/s auf 0.400 Ct/s.

Bestimmen Sie die Änderungsrate $\dot{S}$ der im System Tauchsieder-Wasser gespeicherten Entropie als Funktion der Zeit t .

Hinweis:

- Stellen Sie die Entropiebilanz für das System Tauchsieder-Wasser auf.

- 13.5 In einem beheizten Raum befindet sich ein Heizkörper (z.B. ein Ofen), in welchem mit der Rate Π_S Entropie erzeugt wird. Die erzeugte Entropie wird an die Raumluft abgegeben. Andererseits fliesst über den Boden, die Decke und die Wände (inkl. Türen und Fenster) Entropie mit der Gesamtstromstärke I_S aus dem Raum ab.

- a) Erstellen Sie mit Insight Maker ein systemdynamisches Modell für den beheizten Raum.

Das Modell soll die folgenden Grössen enthalten:

- in der Raumluft gespeicherte Entropie S (als Behälter)
- Entropieerzeugungsrate Π_S
- Entropiestromstärke I_S
- absolute Temperatur T der Raumluft

Hinweise:

- Die in einem Körper (fest/flüssig/gasförmig) gespeicherte Entropie S und die absolute Temperatur T des Körpers hängen wie folgt zusammen:

$$S = k \cdot m \cdot T$$

wobei: S = Entropie, $[S] = \text{Ct}$

T = absolute Temperatur, $[T] = \text{K}$

m = Masse (hier: Masse der Raumluft), $[m] = \text{kg}$

k = spezifische Entropiekapazität des Materials (hier: von Luft), $[k] = \text{Ct}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

- Die spezifische Entropiekapazität k gibt an, welche Menge Entropie einem Körper der Masse 1 kg zugeführt werden muss, um ihn um 1 K zu erwärmen.
- Die spezifische Entropiekapazität k hängt im Allgemeinen selbst von der Temperatur T ab. Hier nehmen wir aber vereinfachend an, dass k eine Konstante ist.

- b) Simulieren Sie den zeitlichen Verlauf der Entropie S und der Temperatur T . Stellen Sie die beiden Grössen je in einem Diagramm dar.

Hinweise:

- Die spezifische Entropiekapazität von Luft beträgt $k = 2.46 \text{ Ct}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- Nehmen Sie einen vernünftigen Wert für m an.
- Nehmen Sie einen vernünftigen Anfangswert für T an.
- Berechnen Sie aus m und dem Anfangswert für T den Anfangswert für S .

Lösungen

13.1 -

- 13.2 a) i) Die gespeicherte Entropie nimmt zu. Die Temperatur bleibt konstant.
ii) Die gespeicherte Entropie nimmt ab. Die Temperatur bleibt konstant.
iii) Die gespeicherte Entropie nimmt zu. Die Temperatur nimmt zu.
- b) Die gespeicherte Entropie teilt sich auf. Die Temperatur beider Teile ist gleich.
- c) Eine Temperaturdifferenz ist ein Antrieb für einen Entropiestrom.
- d) Nein. Erstens kann Entropie zugeflossen sein. Zweitens könnte Entropie im System erzeugt worden sein.

13.3 $\Delta S = I_{S,\text{mittel}} \cdot \Delta t = -10.0 \text{ Ct/s} \cdot 3600 \text{ s} = -36.0 \text{ kCt}$

Dies bedeutet, dass insgesamt 36.0 kCt Entropie aus dem Innenraum des Hauses abgeflossen sind.

13.4 Entropiebilanz für das System Tauchsieder-Wasser:

$$-I_S + \Pi_S = \dot{S}$$

$\dot{S}$ sinkt während der 100 s linear

von 1.20 Ct/s (= -0.100 Ct/s + 1.30 Ct/s) auf 0.900 Ct/s (= -0.400 Ct/s + 1.30 Ct/s).

13.5 Insight-Maker-Modell [Beheizter Raum](#)

Parameterwerte:

$m = 25 \text{ kg}$ (Annahme: $V \approx 25 \text{ m}^3$, $\rho_{\text{Luft}} \approx 1 \text{ kg/m}^3$)

$k = 2.46 \text{ Ct/(K} \cdot \text{kg)}$

Anfangswert für S:

$S = 17'400 \text{ Ct}$ (Annahme: $T = 283 \text{ K} \triangleq 10 \text{ }^\circ\text{C}$)