

Aufgaben 5 Thermodynamik Entropie, Entropiebilanz, Temperatur, Energie, Wirkungsgrad

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.
- die Entropie als Energieträger verstehen.
- den Zusammenhang zwischen der Entropiestromstärke und der dazugehörigen Energiestromstärke kennen.
- den Unterschied zwischen einer Energiestromstärke und einer Prozessleistung kennen und verstehen.
- Systemdiagramme bzw. Energieflussbilder von einfacheren Energieumladern verstehen und selber zeichnen können.
- wissen und verstehen, dass Energieverluste typischerweise auf Entropieerzeugung beruhen.
- den Unterschied zwischen idealen und realen Energieumladern kennen und verstehen.
- wissen und verstehen, wie der Wirkungsgrad eines Energieumladers definiert ist.
- die Grösse Dissipationsrate kennen, verstehen und bestimmen können.
- verstehen, wieviel eine Kilowattstunde Energie ist.
- einfachere Energieberechnungen ausführen können.

Aufgaben

5.1 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?

5.2 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.

Nehmen Sie dabei näherungsweise an, dass nirgends Entropie in den Innenraum zufliesst und/oder dass im Innenraum Entropie erzeugt wird.

5.3 (siehe nächste Seite)

- 5.3 In einem Behälter wird mit einem Tauchsieder Wasser erwärmt. Die Entropieerzeugungsrate beträgt $\Pi_S = 1.30 \text{ Ct/s}$. 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.
- 5.4 Leiten Sie eine Formel her, die es erlaubt, Temperaturen ...
- a) ... von °F (Grad Fahrenheit) in °C (Grad Celsius) umzurechnen.
- Hinweise:
- Verwenden Sie die Definition für den Zusammenhang $\vartheta/^{\circ}\text{F} \leftrightarrow \vartheta/^{\circ}\text{C}$ (vgl. Unterricht).
- Der Zusammenhang $\vartheta/^{\circ}\text{F} \rightarrow \vartheta/^{\circ}\text{C}$ kann durch eine lineare Funktion ausgedrückt werden. Die gesuchte Formel ist die Funktionsgleichung dieser Funktion.
- Skizzieren Sie den Zusammenhang $\vartheta/^{\circ}\text{F} \rightarrow \vartheta/^{\circ}\text{C}$ in einem kartesischen Koordinatensystem, indem Sie $\vartheta/^{\circ}\text{F}$ auf der Abszissenachse ("x-Achse") und $\vartheta/^{\circ}\text{C}$ auf der Ordinatenachse ("y-Achse") auftragen.
- b) ... von °C in °F umzurechnen.
- Hinweis:
- Der Zusammenhang $\vartheta/^{\circ}\text{C} \rightarrow \vartheta/^{\circ}\text{F}$ ist die Umkehrfunktion der in a) betrachteten linearen Funktion.
- c) Rechnen Sie eigene Beispiele von Temperaturen ϑ von °C in °F um und umgekehrt.
- 5.5 Ein Wärmekraftwerk (Kernkraftwerk, Öl-/Gas-/Kohlekraftwerk) hat grundsätzlich den Zweck, Energie vom Träger Entropie auf den Träger elektrische Ladung umzuladen. Zeichnen Sie das Systemdiagramm bzw. das Energieflussbild eines solchen Wärmekraftwerkes.
- 5.6 Bei einem thermischen Kraftwerk gelangt ein Teil der (durch eine Verbrennung von Öl/Gas/Kohle oder durch einen Kernprozess) erzeugten Entropie als Abwärme an die Umwelt. Der zur Abwärme gehörige Energiestrom hat die Stärke 1.50 GW. Die Temperatur der Umwelt beträgt 27 °C. Bestimmen Sie die Stromstärke der Entropie, die von der Anlage an die Umwelt abgegeben wird.
- 5.7 Zeigen Sie, dass der ideale Wirkungsgrad eines Wärmekraftwerkes gegeben ist durch
- $$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$
- Hinweis:
- Betrachten Sie das Systemdiagramm eines Wärmekraftwerkes (siehe Aufgabe 5.5).
- 5.8 In einem Kernkraftwerk (KKW) wird die Energie, die bei den Kernspaltungen freigesetzt wird, dissipiert. Es wird also Entropie erzeugt. Die entsprechende Dissipationsrate beträgt beim KKW Gösgen 3.0 GW. Die Entropie verlässt den Reaktor konvektiv mit Wasser der Temperatur 325 °C. Im Kühlturm wird Entropie an die Umgebungsluft abgegeben. Die „Netto-Nennleistung“, d.h. die den Verbrauchern netto zugeführte Energie pro Zeiteinheit beträgt beim KKW Gösgen 1.0 GW. Bestimmen Sie ...
- a) ... den realen Wirkungsgrad des KKW Gösgen.
- b) ... den idealen Wirkungsgrad, d.h. den Wirkungsgrad, den das KKW Gösgen theoretisch höchstens haben könnte.

- 5.9 Ein thermisches Ölkraftwerk hat einen zur Abwärme gehörigen Energiestrom der Stärke 1.50 GW bei einer Temperatur von 27 °C.
- Bestimmen Sie die Stromstärke der Entropie, die von der Anlage an die Umwelt abgegeben wird.
 - Bestimmen Sie die Heiztemperatur, damit die thermische Prozessleistung 1.00 GW beträgt.
- Hinweis:
- Betrachten Sie das Systemdiagramm eines Wärmekraftwerkes.
- 5.10 Bei Energiefragen wird häufig die Energieeinheit kWh (Kilowattstunden) verwendet.
- Wieviele Joule sind 1 kWh?
 - Im Empire State Building in New York befindet sich im 90. Stockwerk (in 360 m Höhe) eine Baustelle. Da alle Lifte ausser Betrieb sind, müssen die benötigten Zementsäcke (Masse 50 kg) von Bauarbeitern hochgetragen werden.
 - Wieviele Zementsäcke zu 50 kg können mit der Energie 1.0 kWh um 360 m angehoben werden?
 - Wieviele Kilokalorien (kcal) Energie muss ein Bauarbeiter durch Nahrung zu sich nehmen, um die in i) gesuchte Anzahl Zementsäcke hochtragen zu können?
- Hinweise:
- Gemäss Definition der Internationalen Vereinigung für Ernährungswissenschaften gilt:
1 kcal := 4.184 kJ (exakt)
- Nehmen Sie an, dass der Wirkungsgrad eines Menschen beim Treppensteigen 20% beträgt.
- 5.11 Führen Sie in Moodle den [Test 5.1](#) durch.

Lehrbuch KPK 2 (Karlsruher Physikkurs, Band 2)

1 Wärmelehre

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)

1.9 Entropie als Energieträger (Seiten 17 und 18)

1.10 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom (Seiten 18 bis 20)

1.14 Energieverlust und Wirkungsgrad (Seiten 24 bis 26)

1.15 Der Wirkungsgrad von Feuerungen (Seiten 26 und 27)

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.

Bemerkung zu 1.10:

- Im Lehrbuch KPK 2 wird für die **Energiestromstärke** das Formelzeichen P verwendet. Dies hat den Nachteil, dass man so eine Energiestromstärke nicht von einer Leistung unterscheiden kann, für welche auch das Formelzeichen P verwendet wird. Wir werden im Unterricht deshalb die Energiestromstärke mit I_W bezeichnen.

Bemerkung zu 1.14:

- In den Abbildungen 1.41 bis 1.43 ist der Begriff „Drehmoment“ falsch. Es sollte „Drehimpuls“ heissen.

Lösungen

- 5.1 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.

5.2 $\Delta S = I_{S,\text{mittel}} \cdot \Delta t = - 10.0 \text{ Ct/s} \cdot 3600 \text{ s} = - 36.0 \text{ kCt}$

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

5.3 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).

5.4 a) $\frac{\vartheta}{^\circ\text{C}} = \frac{5}{9} \frac{\vartheta}{^\circ\text{F}} - \frac{160}{9} = \frac{5}{9} \left(\frac{\vartheta}{^\circ\text{F}} - 32 \right)$

b) $\frac{\vartheta}{^\circ\text{F}} = \frac{9}{5} \frac{\vartheta}{^\circ\text{C}} + 32 = \frac{9}{5} \left(\frac{\vartheta}{^\circ\text{C}} + \frac{160}{9} \right)$

c) ...

5.5 ...

5.6 $I_W = T \cdot I_S$

 $\Rightarrow I_S = \frac{I_W}{T} = \frac{1.50 \text{ GW}}{300 \text{ K}} = 5.00 \text{ MCt/s}$

5.7 ...

5.8 a) $\eta = \frac{P_{\text{el}}}{P_{\text{diss}}} = \frac{1.0 \text{ GW}}{3.0 \text{ GW}} = 0.33 = 33\%$

b) $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \approx 1 - \frac{300 \text{ K}}{600 \text{ K}} = 50\%$

5.9 a) $I_W = T \cdot I_S$

 $\Rightarrow I_S = \frac{I_W}{T} = \frac{1.50 \text{ GW}}{300 \text{ K}} = 5.00 \text{ MCt/s}$

b) $P_{\text{th}} = \Delta T \cdot I_S$

$\Delta T = T_{\text{Heiz}} - T_{\text{Umwelt}}$

$I_{W,\text{Umwelt}} = T_{\text{Umwelt}} \cdot I_S$

 $\Rightarrow T_{\text{Heiz}} = \left(1 + \frac{P_{\text{th}}}{I_{W,\text{Umwelt}}} \right) \cdot T_{\text{Umwelt}} = \left(1 + \frac{1.00 \text{ GW}}{1.50 \text{ GW}} \right) \cdot 300 \text{ K} = 500 \text{ K} \hat{=} 227 \text{ }^\circ\text{C}$

5.10 a) $1 \text{ kWh} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ J} = 3.6 \text{ MJ}$ (exakt, d.h. nicht gerundet)

b) i) 20 Zementsäcke

ii) $4.3 \cdot 10^3 \text{ kcal}$

5.11 -