

Gestufte Hilfen zum Aufgabenblatt „Die besonderen Eigenschaften der Entropie“

Zu Aufgabe 1

Hilfe 1: Im Aufgabenblatt „Entropie, Temperatur und Masse“ hast du bereits wichtige Eigenschaften der Entropie kennengelernt.

Hilfe 2: Formuliere ausgehend von Aufgabe 2 des Arbeitsblattes „Entropie, Temperatur und Masse“ allgemeine Eigenschaften der Entropie.

Hilfe 3: Lösung: Eigenschaften der physikalischen Größe Entropie:

- Der Entropiegehalt eines Gegenstandes hängt von der Temperatur, der Masse und dem Material des Gegenstandes ab.
- Je höher die Temperatur eines Gegenstandes, desto mehr Entropie enthält der Gegenstand.
- Bei gleichbleibender Temperatur gilt:
Je größer die Menge eines Stoffes, desto mehr Entropie enthält diese Stoffmenge.
- Betrachtet man Gegenstände, die aus dem gleichen Material bestehen und die gleiche Temperatur haben, aber unterschiedliche Massen besitzen, so gilt:
Der Entropiegehalt ist proportional zur Masse.
- Wird ein Gegenstand von außen erwärmt, dann strömt Entropie von außen in den Gegenstand hinein.
- Kühlt sich ein Gegenstand ab, dann gibt er Entropie an die Umgebung ab.
- Wenn zwei Gegenstände mit unterschiedlichen Temperaturen in Kontakt stehen, dann strömen Entropie und Energie vom Gegenstand *A* mit höherer Temperatur zum Gegenstand *B* mit niedriger Temperatur. Folglich nimmt die Entropie und Energie des Gegenstands *A* ab und die Energie und Entropie des Gegenstands *B* zu. Dadurch kühlt sich Gegenstand *A* ab und Gegenstand *B* erwärmt sich.

Zu Aufgabe 2 a) und b)

Hilfe 1: Umso höher die Temperatur eines Gegenstands, desto mehr Energie und Entropie enthält er.

Hilfe 2: Wenn zwei Gegenstände mit unterschiedlichen Temperaturen in Kontakt stehen, dann strömen Entropie und Energie vom Gegenstand *A* mit höherer Temperatur zum Gegenstand *B* mit niedriger Temperatur. Folglich nimmt die Entropie und Energie des Gegenstands *A* ab und die Entropie und Energie des Gegenstands *B* zu. Dadurch kühlt sich Gegenstand *A* ab und Gegenstand *B* erwärmt sich.

Hilfe 3: Umso höher die Temperatur eines Gegenstandes *A*, desto mehr Energie und Entropie enthält er. Findet man bei einer Erwärmung eines Gegenstands *A* keinen zweiten Gegenstand *B*, der sich abkühlt, dann kann die Entropie nicht übertragen worden sein! Folglich wurde die Entropie neu erzeugt. Die dazu benötigte Energie wurde von einem anderen Energieträger abgeladen. Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden (Energieerhaltungssatz).

Zu Aufgabe 2 a) (Fortsetzung)

Hilfe 4: Wenn mit einem Wasserkocher Wasser erhitzt wird, dann steigt die Temperatur dieses Wassers. Kühlt sich dadurch ein anderer Gegenstand ab? Welche Folgerungen ergeben sich hieraus für die Entropie und Energie?

Hilfe 5: Lösung: Wenn mit einem Wasserkocher Wasser erhitzt wird, dann steigt die Temperatur dieses Wassers. Folglich nimmt die Energie und Entropie dieses Wassers zu. Da sich hierbei kein anderer Gegenstand abkühlt, kann die Entropie nicht von einem anderen Gegenstand in dieses Wasser geflossen sein. Folglich muss diese Entropie neu erzeugt worden sein. Die Energie, die in das Wasser geflossen ist, wurde von der elektrischen Ladung, die durch die elektrischen Leitungen des Wasserkochers fließt, abgeladen.

Zu Aufgabe 2 b) (Fortsetzung)

Hilfe 4: Wenn ein Motorradfahrer bremst, dann erhitzen sich die Bremscheiben. Kühlt sich dadurch ein anderer Gegenstand ab? Welche Folgerungen ergeben sich hieraus für die Entropie und Energie?

Hilfe 5: Lösung: Wenn ein Motorradfahrer bremst, dann erhitzen sich die Bremscheiben. Folglich nimmt die Energie und Entropie der Bremscheiben zu. Da sich hierbei kein anderer Gegenstand abkühlt, kann die Entropie nicht von einem anderen Gegenstand auf die Bremscheiben geflossen sein. Folglich muss diese Entropie neu erzeugt worden sein. Die Energie, die auf die Bremscheibe geflossen ist, wurde von dem Impuls des Motorrades abgeladen.

Zu Aufgabe 3 a) und b)

Hilfe 1: Umso geringer die Temperatur eines Gegenstands, desto weniger Energie und Entropie enthält er.

Hilfe 2: Wenn zwei Gegenstände mit unterschiedlichen Temperaturen in Kontakt stehen, dann strömen Entropie und Energie vom Gegenstand A mit höherer Temperatur zum Gegenstand B mit niedrigerer Temperatur. Folglich nimmt die Entropie und Energie des Gegenstands A ab und die Entropie und Energie des Gegenstands B zu. Dadurch kühlt sich Gegenstand A ab und Gegenstand B erwärmt sich.

Hilfe 3: Umso geringer die Temperatur eines Gegenstands, desto weniger Energie und Entropie enthält er. Findet man bei einer Abkühlung eines Gegenstands B keinen zweiten Gegenstand A, der sich erwärmt, dann kann Gegenstand B die Entropie nicht abgegeben haben! Folglich wurde die Entropie vernichtet. Die hierbei abgegebene Energie wurde auf einen anderen Energieträger umgeladen. Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden (Energieerhaltungssatz).

Zu Aufgabe 3 a) (Fortsetzung)

Hilfe 4: Der Wasserkocher und das darin befindliche Wasser kühlen sich plötzlich ab. Es gibt aber kein Gegenstand, der sich gleichzeitig erwärmt. Welche Folgerungen ergeben sich hieraus für die Entropie und Energie?

Hilfe 5: Lösung: Der Wasserkocher und das darin befindliche Wasser kühlen sich ab. Folglich nimmt die Entropie und Energie des Wasserkochers und des Wassers ab. Da hierbei kein anderer Gegenstand erwärmt wird, kann die Entropie nicht an einen anderen Gegenstand abgegeben werden. Folglich muss diese Entropie vernichtet werden. Die Energie, die zum Elektromotor fließt, wurde dem Wasserkocher und dem Wasser entzogen und auf elektrische Ladung aufgeladen. Daher gilt auch hier der Energieerhaltungssatz.

Zu Aufgabe 3 b) (Fortsetzung)

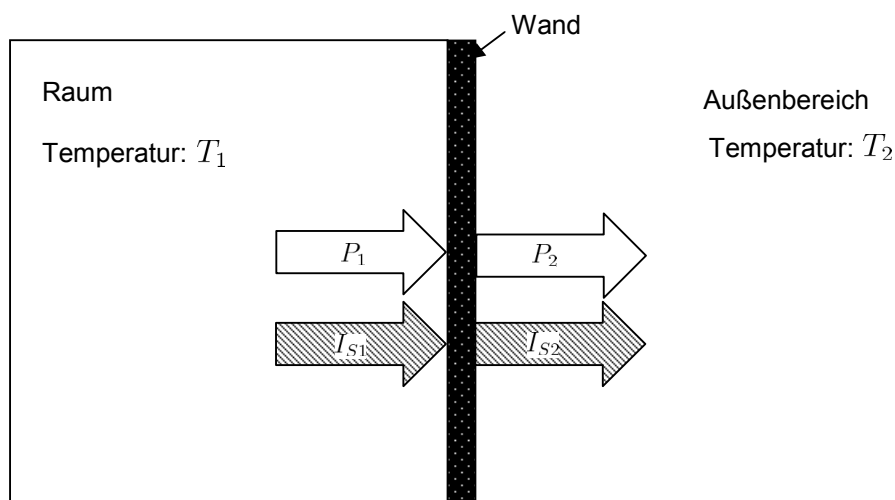
Hilfe 4: Die Umgebung des Bobby-Cars kühlt sich ab. Es gibt aber kein Gegenstand, der sich gleichzeitig erwärmt. Welche Folgerungen ergeben sich hieraus für die Entropie und Energie?

Hilfe 5: Lösung: Die Umgebung des Bobby-Cars kühlt sich ab. Folglich nimmt die Entropie und Energie der Umgebung des Bobby-Cars ab. Da hierbei kein anderer Gegenstand erwärmt wird, kann die Entropie nicht an einen anderen Gegenstand abgegeben werden. Folglich muss diese Entropie vernichtet werden. Die Energie, die zur Bewegung des Bobby-Cars benötigt wird, wird der Umgebung des Bobby-Cars entzogen und auf den Impuls des Bobby-Cars aufgeladen. Daher gilt auch hier der Energieerhaltungssatz.

Zu Aufgabe 5 a)

Hilfe 1: Eine geeignete Skizze besteht mindestens aus einer Wand, den Temperaturangaben und den beschrifteten Entropie- und Energiepfeilen von dem Raum in die Wand hinein und von der Wand ins Freie.

Hilfe 2: Eine mögliche Skizze:



Hilfe 3: Betrachtet man einen Quadratmeter der Wand, dann gilt nach Aufgabenstellung:

$$P_1 = P_2 = 25 \text{ W.}$$

Hilfe 4: Berechne die Entropiestromstärken I_{S1} und I_{S2} . Falls $I_{S2} > I_{S1}$ wurde hierbei Entropie erzeugt.

Hilfe 5: Die Entropiestromstärke lässt sich mithilfe der Formel $P = T \cdot I_S$ berechnen. Beachte, dass hierbei die Temperatur T in Kelvin eingesetzt werden muss.

Hilfe 6: Um dir das Vorgehen beim Lösen einer Rechenaufgabe nochmals ins Gedächtnis zu rufen, lies im Methodenordner Physik den Abschnitt: „Lösen von einfachen Rechenaufgaben“.

Hilfe 7: Lösung:

Gegeben: $P_1 = P_2 = 25 \text{ W}$; $T_1 = 21 \text{ K} + 273 \text{ K} = 294 \text{ K}$ (entspricht $21 \text{ }^\circ\text{C}$);

$T_2 = (-4 + 273) \text{ K} = 269 \text{ K}$ (entspricht $-4 \text{ }^\circ\text{C}$)

Gesucht: I_{S1} und I_{S2}

Auflösen der Gleichung $P = T \cdot I_S$ nach I_S :

$$\begin{aligned} P &= T \cdot I_S \quad | : T \\ \frac{P}{T} &= I_S \end{aligned}$$

Einsetzen der Werte:

$$I_{S1} = \frac{P_1}{T_1} = \frac{25 \text{ W}}{294 \text{ K}} = 0,085 \frac{\text{W}}{\text{K}} = 0,085 \frac{\text{Ct}}{\text{s}}$$

$$I_{S2} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{25 \text{ W}}{269 \text{ K}} = 0,093 \frac{\text{W}}{\text{K}} = 0,093 \frac{\text{Ct}}{\text{s}}$$

Da $I_{S2} > I_{S1}$ fließt mehr Entropie aus der Wand ins Freie als vom Raum in die Wand hinein. Folglich wurde in der Wand Entropie erzeugt.

Zu Aufgabe 5 b)

Hilfe 1: Für die Entropiestromstärke gilt die Gleichung:

$$I_S = \frac{\text{Entropiemenge } S \text{ in Ct}}{\text{Zeit } t \text{ in s}} = \frac{S}{t}$$

Hilfe 2: Die Zeit t ist bekannt. Die Entropiestromstärken I_{S1} und I_{S2} hast du bereits in Aufgabenteil a) berechnet. Mit der Gleichung aus Hilfe 1 kannst du nun die Entropiemengen S_1 und S_2 berechnen.

Hilfe 3: Die erzeugte Entropiemenge: $\Delta S = S_2 - S_1$.

Hilfe 4: Um dir das Vorgehen beim Lösen einer Rechenaufgabe nochmals ins Gedächtnis zu rufen, lies im Methodenordner Physik den Abschnitt: „Lösen von einfachen Rechenaufgaben“.

Hilfe 5: Lösung:

Gegeben: $I_{S1} = 0,085 \frac{\text{Ct}}{\text{s}}$; $I_{S2} = 0,093 \frac{\text{Ct}}{\text{s}}$; $t = 1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$

Gesucht: S_1 und S_2

Auflösen der Gleichung $I_S = \frac{S}{t}$ nach S :

$$\begin{aligned} I_S &= \frac{S}{t} \quad | \cdot t \\ I_S \cdot t &= S \end{aligned}$$

Einsetzen der Werte:

$$S_1 = I_{S1} \cdot t = 0,085 \frac{\text{Ct}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s} = 306 \text{ Ct}$$

$$S_2 = I_{S2} \cdot t = 0,093 \frac{\text{Ct}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s} = 335 \text{ Ct}$$

Die Entropiemenge $\Delta S = S_2 - S_1 = 335 \text{ Ct} - 306 \text{ Ct} = 29 \text{ Ct}$ wurde pro Quadratmeter Außenwandfläche in einer Stunde erzeugt.

Zu Aufgabe 5 c)

Hilfe 1: Siehe Hilfen zu Aufgabe 5 a) und 5 b)

Hilfe 2: Lösung: Mit den gleichen Überlegungen wie in den Aufgabenteilen a) und b) gelangt man zu dem Ergebnis:

Die Entropiemenge $\Delta S = S_2 - S_1 = 67,0 \text{ Ct} - 61,2 \text{ Ct} = 5,8 \text{ Ct}$ wurde pro Quadratmeter Außenwandfläche in einer Stunde erzeugt.

Zu Aufgabe 5 d)

Hilfe 1: Vergleiche die Energie- und Entropiewerte der Aufgabenteile b) und c).

Hilfe 2: Lösung: Im NwT-Raum strömt pro Quadratmeter Außenwandfläche 5-mal mehr Energie durch die Wand als im Physiksaal. Bei diesem Vorgang wird pro Quadratmeter Außenwandfläche im NwT-Raum 5-mal mehr Entropie erzeugt als im Physiksaal. Die Energie, die durch die Wand ins Freie gelangt, ist für uns nicht mehr nutzbar, also „vergeudet“. Diese Beobachtung bestätigt die Aussage: „Umso mehr Energie „vergeudet“ wird, desto mehr Entropie wird erzeugt.“

Zu Aufgabe 7

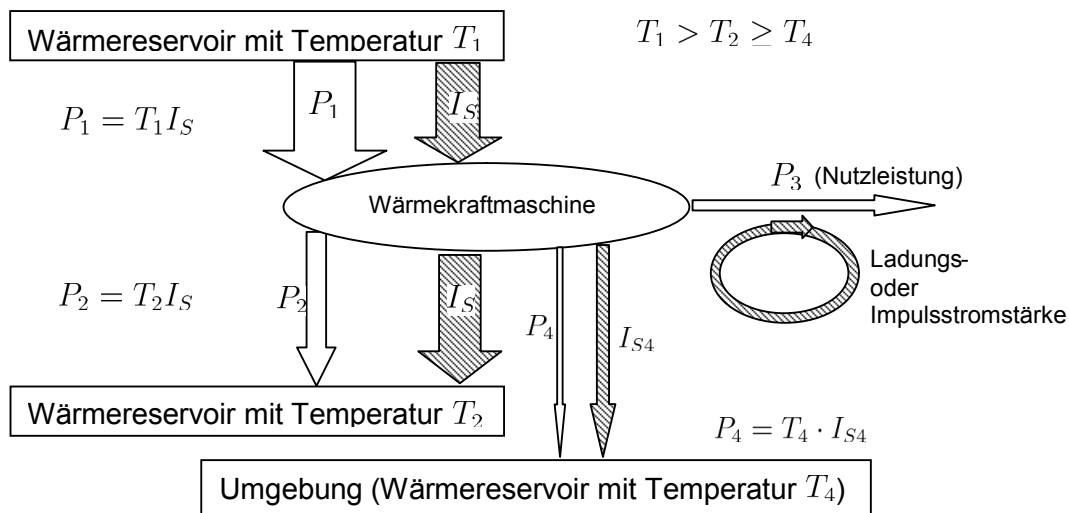
Hilfe 1: Entropie kann nicht vernichtet, aber erzeugt werden.

Hilfe 2: Durch welche Vorgänge könnte zum Beispiel in einem Stirlingmotor Entropie erzeugt werden?

Hilfe 3: Durch Reibung wird in einem Stirlingmotor Entropie erzeugt.

Hilfe 4: Die Entropiemenge innerhalb einer Wärmekraftmaschine ändert sich während des Betriebs nicht. Was muss folglich mit der erzeugten Entropie geschehen? Welche Auswirkungen hat dies auf den Wirkungsgrad?

Hilfe 5: Lösung: Da sich die Entropiemenge innerhalb einer Wärmekraftmaschine während des Betriebs nicht ändert, muss folglich die erzeugte Entropiemenge abgeführt werden. Die erzeugte Entropiemenge wird im Regelfall an die Umgebung abgeführt:



Da fließende Entropie immer Energie mit sich führt, wird auch Energie mit der Energiestromstärke $P_4 = T_4 \cdot I_{S4}$ an die Umgebung abgegeben. Folglich bleibt nach dem Energieerhaltungssatz weniger Nutzleistung P_3 bei der gleichen zugeführten Leistung P_1 übrig. Damit wird der Wirkungsgrad geringer. Im Folgenden wird dieser Schluss noch ausführlicher begründet:

Für den Wirkungsgrad η gilt folgende Beziehung:

$$\eta = \frac{\text{Nutzleistung}}{\text{zugeführte Leistung}} = \frac{P_3}{P_1}$$

Nach dem Energieerhaltungssatz teilt sich die zugeführte Leistung P_1 in die Leistungen P_2 , P_3 und P_4 auf: $P_1 = P_2 + P_3 + P_4$.

Aufgelöst nach P_3 ergibt sich die Gleichung: $P_3 = P_1 - P_2 - P_4$.

Folglich ist P_3 umso kleiner, desto größer P_4 ist. Damit ist der Wirkungsgrad umso geringer, desto größer P_4 ist.

Zu Aufgabe 8

Hilfe 1: Die Wirkungsgrade findest du teilweise in den Arbeitsblättern: „Berechnung der Wirkungsgrade von Wärmekraftmaschinen“ und „Schätzen von Wirkungsgraden“. Die restlichen Wirkungsgrade lassen sich dann einfach zuordnen.

Hilfe 2: Lösung:

Vorgang	Gerät	Wirkungsgrad	Entropie wird erzeugt
Energie wird vollständig von Impuls auf Ladung umgeladen	<i>idealer Generator</i>	100%	
Energie wird von Impuls auf Ladung und Entropie umgeladen	<i>realer Generator</i>	99,5%	x
Energie wird vollständig von Ladung auf Impuls umgeladen	<i>idealer Elektromotor</i>	100%	
Energie wird von Ladung auf Impuls und Entropie umgeladen	<i>realer Elektromotor</i>	99,5%	x
Energie wird vollständig von Impuls auf Entropie umgeladen	<i>Scheibenbremse</i>	100%	x
Energie wird vollständig von Ladung auf Entropie umgeladen	<i>idealer Wasserkocher</i>	100%	x
Energie wird vollständig von Ladung auf Entropie umgeladen	<i>realer Wasserkocher</i>	85%	x
Energie wird teilweise von Entropie auf Ladung umgeladen	<i>ideales Thermoelement</i>	72%	
Energie wird teilweise von Entropie auf Ladung umgeladen	<i>reales Thermoelement</i>	8%	x
Energie wird teilweise von Entropie auf Impuls umgeladen	<i>realer Stirlingmotor</i>	65%	x
Energie wird teilweise von Entropie auf Impuls umgeladen	<i>idealer Stirlingmotor</i>	72%	

Zu Aufgabe 9 a)

Hilfe 1: Betrachte die in obiger Tabelle (Aufgabe 8) aufgeführten Wirkungsgrade.

Hilfe 2: Fließt Energie zusammen mit Ladung, dann kann diese Energie im Idealfall **zu 100%** auf Impuls umgeladen werden.

Fließt Energie zusammen mit Ladung, dann kann diese Energie im Idealfall **zu 100%** auf Entropie umgeladen werden.

Hilfe 3: Fließt Energie zusammen mit Impuls, dann kann diese Energie im Idealfall **zu 100%** auf Ladung umgeladen werden.

Fließt Energie zusammen mit Impuls, dann kann diese Energie im Idealfall **zu 100%** auf Entropie umgeladen werden.

Hilfe 4: Fließt Energie zusammen mit Entropie, dann kann diese Energie im Idealfall und im Realfall **nur teilweise** auf Ladung umgeladen werden. Der Rest fließt weiterhin mit Entropie.

Hilfe 5: Fließt Energie zusammen mit Entropie, dann kann diese Energie im Idealfall und im Realfall **nur teilweise** auf Impuls umgeladen werden. Der Rest fließt weiterhin mit Entropie.

Zu Aufgabe 9 b)

Hilfe 1: Betrachte die Formel für den Wirkungsgrad einer idealen Wärmekraftmaschine.

Hilfe 2: Formel für den Wirkungsgrad einer idealen Wärmekraftmaschine: $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

Hilfe 3: Der Wirkungsgrad ist umso größer, desto kleiner T_2 .

Hilfe 4: Der Wirkungsgrad ist umso größer, desto größer T_1 .

Hilfe 5: Der kleinstmögliche Wert für T_2 ist die Umgebungstemperatur.

Hilfe 6: Umso weiter T_1 über der Umgebungstemperatur liegt, desto größer ist der Wirkungsgrad.