

# PRÜFUNGSVORBEREITUNG PHYSIK: WÄRMELEHRE

Theoriefragen: Diese Begriffe musst du auswendig in maximal ein bis zwei Sätzen erklären können.

- a) Vektor/Skalar
- b) Temperatur
- c) Celsius- und Kelvinskala und deren Fixpunkte
- d) Absoluter Nullpunkt
- e) Innere Energie
- f) Wärme
- g) Welcher Zusammenhang besteht zwischen innerer Energie und Temperatur?
- h) Wie erhöht man die Innere Energie eines Körpers? (Zwei Möglichkeiten)
- i) Spezifische Wärmekapazität
- j) Spezifische Schmelzwärme
- k) Spezifische Verdampfungswärme
- l) Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Siedepunkt einer Flüssigkeit und dem Luftdruck? Formuliere einen «je... desto... »-Satz.
- m) Verdampfen/Sieden/Verdunsten
- n) Wie funktioniert ein Kühlschrank? (Erklärung anhand einer vorgegebenen Skizze)
- o) Wie funktioniert eine Wärmepumpe? (Erklärung anhand einer vorgegebenen Skizze)
- p) Skizziere (qualitativ) ein Energieflussdiagramm für eine Wärmepumpe.
- q) Leistungszahl einer Wärmepumpe
- r) Leistungszahl einer Kältemaschine

Physikalische Größen: Diese physikalischen Größen musst du kennen, mit Symbolen und Einheiten.

	Symbol	Einheit		Symbol	Einheit
Weg, Strecke			Beschleunigung		
Zeit			Geschwindigkeit		
Masse			Kraft		
Druck			Dichte		
Volumen			Arbeit		
Temperatur in der Kelvin-Skala			Temperatur in der Celsius-Skala		
Längenausdehnungszahl			Volumenausdehnungszahl		
Wärme			innere Energie		
spezifische Wärmekapazität			spezifische Schmelzwärme		
spezifische Verdampfungswärme			Leistung		
Leistungszahl einer Kältemaschine			Leistungszahl einer Wärmepumpe		

Fähigkeiten: Diese Fähigkeiten musst du beherrschen:

- ☞ Winkel vom Gradmass ins Bogenmass umrechnen und umgekehrt
- ☞ Formeln umformen
- ☞ Gleichungen für physikalische Situationen aufstellen und lösen
- ☞ Zahlenwerte mit Einheiten einsetzen und richtig ausrechnen
- ☞ Resultate auf die richtige Anzahl Ziffern runden
- ☞ Die Einheit bar in Pascal umrechnen und umgekehrt
- ☞ Verschiedene Einheiten für Volumina und Flächen ineinander umrechnen
- ☞ Die Einheit °C in K umwandeln und umgekehrt
- ☞ Diagramme zeichnen und interpretieren
- ☞ Vektoren zeichnerisch (in der Pfeildarstellung) zusammensetzen und zerlegen
- ☞ Alle Kräfte, die an einem Körper angreifen, in einem Kräfteplan aufzeichnen
- ☞ Energieflussdiagramme zeichnen und interpretieren
- ☞ Die Funktionsweise einer Wärmepumpe, Kühlschrank, und einer Klimaanlage erklären können

Formeln: An der Prüfung erhältst du ein Formelblatt. Auf dem Formelblatt findest du alle Formeln, die du brauchst, sowie Tabellenwerte und ein paar wichtige Formeln aus der Mathematik. Das Formelblatt kannst du auf [ga.perihel.ch](http://ga.perihel.ch) anschauen und herunterladen.

Übungsaufgaben:

Bei allen Aufgaben muss der Lösungsweg klar ersichtlich sein.

Bei Berechnungen werden für die volle Punktzahl eine algebraische Lösung (das heisst die Formel, umgeformt nach der gesuchten Grösse) und die vollständig eingesetzte Rechnung (das heisst Zahlenwerte mit Einheiten) verlangt.

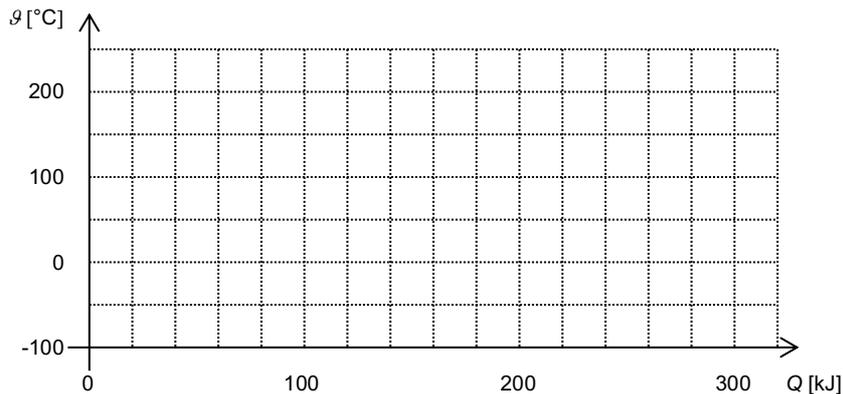
Resultate müssen unterstrichen sein (Einheiten nicht vergessen!).

### **Alle Arbeits- und Theorieblätter sowie Aufgabenblätter A39 bis A43**

#### **Weitere Aufgaben**

1. Wasser, das in einer flachen Schale in einem warmen Zimmer steht, verdunstet allmählich. Dabei kühlt es sich auch ab. Warum gefriert es nicht schliesslich?
2. Die Windrichtung kann man bestimmen, indem man einen Finger anfeuchtet und dann hochhält. Wie funktioniert das?
3. Wenn man sich zu stark erhitzt (durch Sonne oder Sport oder Sauna), schwitzt man. Das Schwitzen bewirkt eine Abkühlung des Körpers. Wie «funktioniert» diese Abkühlung?
4. Wasserdampf von 100 °C ruft weit schlimmere Verbrennungen hervor als die gleiche Menge Wasser von 100 °C. Warum?
5. Ein Goldstab ( $\ell_0 = 0.067430 \text{ m}$ ,  $\varrho = 19300 \text{ kg/m}^3$ ) wird vollständig geschmolzen. Die dafür benötigte Energiemenge beträgt 0.127500 kJ. Die Masse des Goldstabs soll berechnet werden.
  - a) Markiere bei den benötigten Zahlenwerte die signifikanten Ziffern mit einem Punkt über der Ziffer. Wie viele signifikanten Ziffern besitzen diese? Wie viele Ziffern sollte das Resultat besitzen?
  - b) Berechne die Masse des Goldstabs (in kg).
  - c) Notiere das Resultat mit einer Zehnerpotenz in der wissenschaftlichen Schreibweise und runde auf die richtige Anzahl signifikanter Ziffern.
6. In einer Badewanne befinden sich 222 ℓ (entspricht 222 kg) Wasser der Temperatur 65.0 °C. Das Wasser soll mit kaltem Wasser ( $\varrho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ) auf 37.0 °C gekühlt werden. Wie viele Liter kaltes Wasser muss man dazugiessen?

7. Ein unbekannter Stoff ( $m = 546 \text{ g}$ ,  $\vartheta = 60.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) wird in  $300.0 \text{ g}$  Wasser mit der Temperatur  $25.0 \text{ }^\circ\text{C}$  getaucht. Nach einer Weile misst man die Endtemperatur  $\vartheta = 30.0 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
Wie gross ist die Wärmekapazität des unbekanntes Stoffes?
8. Ein heisser Eisennagel ( $m = 4.0 \text{ g}$ ) wird in  $100.0 \text{ g}$  Wasser mit der Anfangstemperatur  $18.0 \text{ }^\circ\text{C}$  getaucht. Dadurch erwärmt sich das Wasser auf  $22.0 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
Wie heiss war der Nagel?
9. Einer Wassermenge von  $80.0 \text{ g}$ , die sich zuerst bei  $-100 \text{ }^\circ\text{C}$  im festen Zustand (=Eis) befindet, wird Wärme zugeführt, während ständig die Temperatur gemessen wird.  
Zeichne den Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der zugeführten Wärme ins Diagramm ein.



10.  $2.50 \text{ l}$  Alkohol werden von Zimmertemperatur ( $\vartheta = 19.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) zum Sieden gebracht und anschliessend vollständig verdampft ( $p = 1'013 \text{ mbar}$ ).  
Wie viel Wärme muss dem Alkohol insgesamt zugeführt werden?
11. Bleigiessen:  $50.0 \text{ g}$  Blei wird vollständig geschmolzen und dann in ein Wasserbecken ( $1.00 \text{ d}\ell$ ) gegossen (Zimmertemperatur:  $\vartheta = 23.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ).
  - a) Wieviel Energie ist insgesamt nötig, um das Blei von  $23.0 \text{ }^\circ\text{C}$  zu erwärmen und zu schmelzen?
  - b) *schwierig* Auf welche Temperatur erwärmt sich das Wasser, nachdem das Blei hinzugegeben wurde?
12.  $260 \text{ g}$  Milch (=Wasser) von  $8.0 \text{ }^\circ\text{C}$  werden mit dem Dampferhitzer einer Espressomaschine von  $8.0 \text{ }^\circ\text{C}$  auf  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  erhitzt. Dazu leitet man Wasserdampf von  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  in die Milch ein (siehe Abbildung).
  - a) Welche zwei Vorgänge spielen sich hier beim Wasserdampf ab?
  - b) Erkläre, warum diese Methode so schnell und effizient ist.
  - c) Wie viele g Wasserdampf braucht man dazu?
  - d) *schwierig* Wie gross ist die Endtemperatur, wenn man  $16.5 \text{ g}$  Wasserdampf in die Milch einleitet?
13. *schwierig* In einem geschlossenen Behälter befinden sich  $98.0 \text{ g}$  Wasserdampf von  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
Wie viele Gramm Eis von  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  muss man dazugeben, so dass man als Endprodukt des «Gemisches» Wasser von  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  erhält?
14. Bei einem Kühlschrank mit einer Leistungszahl von  $3.5$  nimmt der Kompressor eine Leistung von  $0.20 \text{ kW}$  auf.
  - a) Wie viel Wärme wird pro Stunde aus dem Innern des Kühlschranks aufgenommen?
  - b) Wie lange dauert es, wenn man  $5.48 \text{ kg}$  Wasser von  $15.7 \text{ }^\circ\text{C}$  in den Kühlschrank stellt, bis es zu Eis von  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  wird?
15. Eine ideale Klimaanlage hält die Innentemperatur eines Zimmers auf  $21 \text{ }^\circ\text{C}$  bei einer Aussen-temperatur von  $32 \text{ }^\circ\text{C}$ . Durch direkte Sonneneinstrahlung tritt durch die Fenster eine Wärmeleistung von  $4.8 \text{ kW}$  ein.  
Wie viele Watt an elektrischer Leistung könnte eingespart werden, wenn die Fensterläden geschlossen wären und nur  $0.50 \text{ kW}$  Wärmeleistung ins Zimmer eintreten würden?



### Lösungen:

1. Weil die Temperatur nicht tiefer als die der Umgebung werden kann.
2. An der Stelle, wo der Wind hinbläst, verdunstet das Wasser auf dem Finger schneller als auf der anderen Seite. Die benötigte Wärme wird von dieser Stelle auf dem Finger geliefert. Dadurch kühlt sich der Finger dort, wo der Wind hinbläst, ab; es fühlt sich «kalt» an.
3. Beim Schwitzen tritt Flüssigkeit an die Körperoberfläche, die anschliessend verdunstet. Die Wärme, die es zum Verdunsten braucht, wird vom Körper geliefert. Der Körper gibt Wärme ab und kühlt sich ab.
4. Wasserdampf von 100 °C enthält viel mehr Energie als Wasser von 100 °C. Wenn Wasserdampf auf die Haut kommt gibt er beim Kondensieren sehr viel Wärme ab, während die Temperatur bei 100 °C bleibt. Anschliessend gibt das kondensierte Wasser weiterhin Wärme ab (beim Abkühlen).  
Wasser von 100 °C hingegen gibt «nur» während dem Abkühlen Wärme ab.

5. a)  $l_0 = 0.067430$  m: 5 signifikante Ziffern (nicht benötigt),  $\vartheta = 1063$  °C: 4 signifikante Ziffern (nicht benötigt),  $Q = 0.127500$  kJ: 6 signifikante Ziffern,  $L_f = 0.64 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ : 2 signifikante Ziffern, Resultat: 2 Ziffern

b)  $m = \frac{Q}{L_f} = \frac{127.500 \text{ J}}{0.64 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 0.0019922 \text{ kg} = 0.0020 \text{ kg}$

c)  $m = \underline{2.0 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}$

6. Das warme Wasser gibt die Wärme

$$Q = \Delta U = c_{\text{Wasser}} \cdot m \cdot \Delta T = 4'182 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 222 \text{ kg} \cdot (65.0 \text{ °C} - 37.0 \text{ °C}) = 25'995 \text{ kJ ans kalte}$$

Wasser ab. Es braucht  $m = \frac{\Delta U}{c \cdot \Delta T} = \frac{25'995'312 \text{ J}}{4'182 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot (37 \text{ °C} - 14 \text{ °C})} = 270 \text{ kg}$ , das sind 270 l kaltes

Wasser.

7. Die innere Energie des Wassers nimmt zu:

$$\Delta U_{\text{Wasser}} = c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Wasser}} \cdot \Delta T_{\text{Wasser}} = 4'182 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 0.300 \text{ kg} \cdot (30.0 \text{ °C} - 25.0 \text{ °C}) = 6'273 \text{ J}$$

Die dazu benötigte Wärme wurde vom unbekanntem Stoff abgegeben:

$$Q_{\text{unbStoff}} = \Delta U_{\text{Wasser}} = 6'273 \text{ J.}$$

Die innere Energie des unbekanntem Stoffes nimmt um den gleichen Betrag ab:

$$Q_{\text{unbStoff}} = \Delta U_{\text{unbStoff}} = c_{\text{unbStoff}} \cdot m_{\text{unbStoff}} \cdot \Delta T_{\text{unbStoff}}$$

$$\Rightarrow c_{\text{unbStoff}} = \frac{\Delta U_{\text{unbStoff}}}{m_{\text{unbStoff}} \cdot \Delta T_{\text{unbStoff}}} = \frac{6'273 \text{ J}}{0.546 \text{ kg} \cdot (60 \text{ °C} - 30 \text{ °C})} = \underline{\underline{383 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}}} \text{ (Kupfer)}$$

8. Die innere Energie des Wassers nimmt zu:

$$\Delta U_{\text{Wasser}} = c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Wasser}} \cdot \Delta T_{\text{Wasser}} = 4'182 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 0.100 \text{ kg} \cdot (22.0 \text{ °C} - 18.0 \text{ °C}) = 1'673 \text{ J}$$

Die dazu benötigte Wärme wurde vom Eisennagel abgegeben:  $Q_{\text{Nagel}} = \Delta U_{\text{Wasser}} = 1'673 \text{ J.}$

Die innere Energie des Eisennagels nimmt um den gleichen Betrag ab:

$$Q_{\text{Nagel}} = \Delta U_{\text{Nagel}} = c_{\text{Eisen}} \cdot m_{\text{Nagel}} \cdot \Delta T_{\text{Nagel}}$$

$$\Rightarrow \Delta T_{\text{Nagel}} = \frac{Q_{\text{Nagel}}}{m_{\text{Nagel}} \cdot c_{\text{Eisen}}} = \frac{1'673 \text{ J}}{0.0040 \text{ kg} \cdot 0.45 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}} = 929 \text{ K}$$

$$\Rightarrow \Delta T_{\text{Nagel}} = \vartheta_{\text{Anfang}} - \vartheta_{\text{End}} \Rightarrow \vartheta_{\text{Anfang}} = \Delta T_{\text{Nagel}} + \vartheta_{\text{End}} = 929 \text{ K} + 22 \text{ °C} = \underline{\underline{951 \text{ °C}}}$$

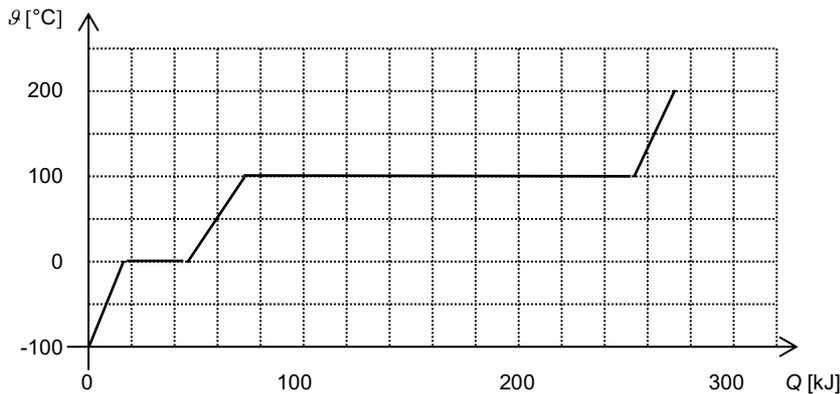
9. Eis erwärmen:  $Q_{\text{Eis}} = c_{\text{Eis}} \cdot m \cdot \Delta T_{\text{Eis}} = 2.09 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0.080 \text{ kg} \cdot 100 \text{ K} = 16'720 \text{ J} = \underline{17 \text{ kJ}}$

Eis schmelzen:  $Q_{\text{Schmelzen}} = L_f \cdot m = 3.34 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0.080 \text{ kg} = 26'720 \text{ J} = \underline{27 \text{ kJ}}$

Wasser erwärmen:  $Q_{\text{Wasser}} = c_{\text{Wasser}} \cdot m \cdot \Delta T_{\text{Wasser}} = 4.182 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0.080 \text{ kg} \cdot 100 \text{ K} = 33'456 \text{ J} = \underline{33 \text{ kJ}}$

Wasser verdampfen:  $Q_{\text{Verdampfen}} = L_v \cdot m = 2.257 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0.080 \text{ kg} = 180'560 \text{ J} = \underline{181 \text{ kJ}}$

Dampf erwärmen:  $Q_{\text{Dampf}} = c_{\text{Dampf}} \cdot m \cdot \Delta T_{\text{Dampf}} = 1.863 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0.080 \text{ kg} \cdot 100 \text{ K} = 14'904 \text{ J} = \underline{15 \text{ kJ}}$



10. Siedepunkt von Alkohol:  $78.3 \text{ }^\circ\text{C}$

Masse des Alkohol:  $m = \rho_{\text{Alkohol}} \cdot V_{\text{Alkohol}} = 0.789 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2.50 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 1.97 \text{ kg}$

$Q_{\text{Erwärmen}} = \Delta U = c \cdot m \cdot \Delta T = 2430 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 1.97 \text{ kg} \cdot 59.3 \text{ K} = 283'875 \text{ J} = 284 \text{ kJ}$

$Q_{\text{Verdampfen}} = L_v \cdot m = 0.840 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 1.97 \text{ kg} = 1'654'800 \text{ J} = 1'655 \text{ kJ}$

$Q_{\text{gesamt}} = Q_{\text{Erwärmen}} + Q_{\text{Verdampfen}} = 284 \text{ kJ} + 1'655 \text{ kJ} = \underline{1'939 \text{ kJ}}$

11. a) Energie zum Erwärmen (von  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  bis zum Schmelzpunkt von  $327 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$Q_{\text{Erwärmen}} = \Delta U = c_{\text{Blei}} \cdot m_{\text{Blei}} \cdot \Delta T_{\text{Blei}} = 129 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0.050 \text{ kg} \cdot (327 \text{ }^\circ\text{C} - 23 \text{ }^\circ\text{C}) = 1'961 \text{ J}$

Energie zum Schmelzen (beim Schmelzpunkt):

$Q_{\text{Schmelzen}} = L_{f(\text{Blei})} \cdot m_{\text{Blei}} = 0.23 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0.050 \text{ kg} = 1'150 \text{ J}$

Total:  $Q_{\text{gesamt}} = Q_{\text{Erwärmen}} + Q_{\text{Schmelzen}} = 1'961 \text{ J} + 1'150 \text{ J} = 3'111 \text{ J} = \underline{3.1 \text{ kJ}}$

b) 1. Vorgang: Blei wird fest – Wasser erwärmt sich. Während das Blei fest wird, gibt es Erstarrungswärme ans Wasser ab:  $Q_{\text{Erstarren}} = \Delta U_{\text{Wasser}}$

$L_{f(\text{Blei})} \cdot m_{\text{Blei}} = c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Wasser}} \cdot \Delta T_{\text{Wasser}}$

$\Delta T_{\text{Wasser}} = \frac{L_{f(\text{Blei})} \cdot m_{\text{Blei}}}{c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Wasser}}} = \frac{0.23 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0.050 \text{ kg}}{4'182 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0.100 \text{ kg}} = 2.75 \text{ K}$

$\vartheta_{\text{Wasser(End)}} = \vartheta_{\text{Wasser(Anfang)}} + \Delta T_{\text{Wasser}} = 23.0 \text{ }^\circ\text{C} + 2.75 \text{ K} = 25.75 \text{ }^\circ\text{C} = \underline{26 \text{ }^\circ\text{C}}$

2. Vorgang: Blei kühlt sich ab – Wasser erwärmt sich. Während sich das erstarrte Blei abkühlt, gibt es Wärme ans Wasser ab:  $\Delta U_{\text{Blei}} = \Delta U_{\text{Wasser}}$

$Q = c_{\text{Blei}} \cdot m_{\text{Blei}} (\vartheta_{\text{Anfang,Blei}} - \vartheta_{\text{End}}) = c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Wasser}} (\vartheta_{\text{End}} - \vartheta_{\text{Anfang,Wasser}})$

$\vartheta_{\text{End}} = \frac{c_{\text{Blei}} \cdot m_{\text{Blei}} \cdot \vartheta_{\text{Anfang,Blei}} + c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Wasser}} \cdot \vartheta_{\text{Anfang,Wasser}}}{c_{\text{Blei}} \cdot m_{\text{Blei}} + c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Wasser}}}$

$= \frac{129 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0.050 \text{ kg} \cdot 327 \text{ }^\circ\text{C} + 4'182 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0.100 \text{ kg} \cdot 25.75 \text{ }^\circ\text{C}}{129 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0.050 \text{ kg} + 4'182 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0.100 \text{ kg}} = \underline{\underline{30 \text{ }^\circ\text{C}}}$

12. a) ① Kondensieren des Wasserdampfs bei 100 °C  
 ② Abkühlen des kondensierten Wassers (aus dem Wasserdampf) von 100 °C auf 35 °C  
 b) Der Dampf gibt beim Kondensieren sehr viel Wärme ab. Diese Wärme wird von der Milch aufgenommen und sie erwärmt sich sehr schnell.

$$c) Q_{\text{Milch}} = c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Milch}} \cdot \Delta T_{\text{Milch}} = 4'182 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0.26 \text{ kg} \cdot 27 \text{ K} = 29'358 \text{ J} = 29 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{Milch}} = Q_{\text{Wasserdampf}} = Q_{\text{kondensieren}} + Q_{\text{abkühlen}} = L_{\text{v(Wasser)}} \cdot m_{\text{Dampf}} + c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Dampf}} \cdot \Delta T_{\text{Dampf}}$$

$$m_{\text{Dampf}} = \frac{Q_{\text{Milch}}}{L_{\text{v(Wasser)}} + c_{\text{Wasser}} \cdot \Delta T_{\text{Dampf}}} = \frac{29'358 \text{ J}}{2.257 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} + 4'182 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 65 \text{ K}} = 0.0116 \text{ kg} = \underline{\underline{11.6 \text{ g}}}$$

- d)  $Q_{\text{Milch}} = Q_{\text{Wasserdampf}} = Q_{\text{kondensieren}} + Q_{\text{abkühlen}}$

$$c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Milch}} \cdot \Delta T_{\text{Milch}} = L_{\text{v(Wasser)}} \cdot m_{\text{Dampf}} + c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Dampf}} \cdot \Delta T_{\text{Dampf}}$$

$$c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Milch}} \cdot (\vartheta_{\text{End}} - \vartheta_{\text{Anfang(Milch)}}) = L_{\text{v(Wasser)}} \cdot m_{\text{Dampf}} + c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Dampf}} \cdot (\vartheta_{\text{Anfang(Dampf)}} - \vartheta_{\text{End}})$$

Auflösen nach  $\vartheta_{\text{End}}$  ergibt

$$\vartheta_{\text{End}} = \frac{L_{\text{v(Wasser)}} \cdot m_{\text{Dampf}} + c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Dampf}} \cdot \vartheta_{\text{Anfang(Dampf)}} + c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Milch}} \cdot \vartheta_{\text{Anfang(Milch)}}}{c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Milch}} + c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Dampf}}}$$

$$= \frac{2.257 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0.0165 \text{ kg} + 4.182 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0.0165 \text{ kg} \cdot 100 \text{ °C} + 4.182 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0.26 \text{ kg} \cdot 8.0 \text{ °C}}{4.182 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0.26 \text{ kg} + 4.182 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0.0165 \text{ kg}}$$

$$= \underline{\underline{46 \text{ °C}}}$$

13. Vorgang Eis: Schmelzen bei 0°C

Vorgänge Wasserdampf: ① Kondensieren des Wasserdampfs bei 100 °C, ② Abkühlen des kondensierten Wassers (aus dem Wasserdampf) von 100 °C auf 0 °C

Die vom Wasserdampf abgegebene Wärme wird vom Eis aufgenommen:

$$Q_{\text{Schmelzen (Eis)}} = Q_{\text{kondensieren}} + Q_{\text{abkühlen (Wasserdampf)}}$$

$$L_{\text{f}} \cdot m_{\text{Eis}} = L_{\text{v}} \cdot m_{\text{Dampf}} + c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Dampf}} \cdot \Delta T_{\text{Dampf}}$$

$$\text{Auflösen nach } m_{\text{Eis}} \text{ ergibt } m_{\text{Eis}} = \frac{L_{\text{v}} \cdot m_{\text{Dampf}} + c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Dampf}} \cdot \Delta T_{\text{Dampf}}}{L_{\text{f}}}$$

$$= \frac{2.257 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0.0980 \text{ kg} + 4'182 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0.0980 \text{ kg} \cdot 100 \text{ K}}{3.34 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 0.785 \text{ kg} = \underline{\underline{785 \text{ g}}}$$

14. a)  $W = P \cdot t = 200 \text{ W} \cdot 3'600 \text{ s} = 720'000 \text{ J} = 0.72 \text{ MJ}$

$$\varepsilon_{\text{K}} = \frac{Q_{\text{nutz(K)}}}{W} = \frac{Q_{\text{auf}}}{W} \quad Q_{\text{auf}} = \varepsilon_{\text{K}} \cdot W = 3.5 \cdot 0.72 \text{ MJ} = \underline{\underline{2.52 \text{ MJ}}}$$

$$b) Q_{\text{auf}} = \Delta U_{\text{Wasser}} + Q_{\text{gefrieren}} = c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Wasser}} \cdot \Delta T_{\text{Wasser}} + L_{\text{f(Wasser)}} \cdot m_{\text{Wasser}} =$$

$$= m_{\text{Wasser}} \cdot (c_{\text{Wasser}} \cdot \Delta T_{\text{Wasser}} + L_{\text{f(Wasser)}}) = 5.48 \text{ kg} \cdot (4'182 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 15.7 \text{ K} + 3.34 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}) =$$

$$= 2'190'122 \text{ J} = 2.19 \text{ MJ}$$

$$t = \frac{W}{P} = \frac{Q_{\text{auf}}}{P \cdot \varepsilon_{\text{K}}} = \frac{2'190'122 \text{ J}}{200 \text{ W} \cdot 3.5} = 3129 \text{ s} = \underline{\underline{52 \text{ min } 9 \text{ s}}}$$

15. Um die Temperatur bei 21 °C zu halten, muss jede Sekunde bei offenen Fensterläden  $Q_{\text{auf}} = 4'800 \text{ J}$  und bei geschlossenen Fensterläden  $Q_{\text{auf}} = 500 \text{ J}$  aus dem Zimmer hinausgepumpt werden.

$$\varepsilon_{\text{K}} = \frac{T_{\text{niedrig}}}{T_{\text{hoch}} - T_{\text{niedrig}}} = \frac{294 \text{ K}}{305 \text{ K} - 294 \text{ K}} = 26.7$$

$$\text{offenen Fensterläden: } W = \frac{Q_{\text{auf}}}{\varepsilon_{\text{K}}} = \frac{4800 \text{ J}}{26.7} = 180 \text{ J}$$

$$\text{geschlossene Fensterläden: } W = \frac{Q_{\text{auf}}}{\varepsilon_{\text{K}}} = \frac{500 \text{ J}}{26.7} = 18.7 \text{ J}$$

Gesparte Energie:  $180 \text{ J} - 18.7 \text{ J} = 161 \text{ J}$  (pro Sekunde)

$$\text{Gesparte Leistung: } P = \frac{W}{t} = \frac{161 \text{ J}}{1 \text{ s}} = \underline{\underline{161 \text{ W}}}$$