

PRÜFUNGSVORBEREITUNG PHYSIK: WÄRMELEHRE

*Alle Grundlagen aus den vorhergehenden Prüfungen werden vorausgesetzt (Theoriefragen, physikalische Grössen, Fähigkeiten). Das heisst: **Gut repetieren!***

Theoriefragen: Diese Begriffe müssen Sie auswendig in ein bis zwei Sätzen erklären können.

- a) Innere Energie
- b) Wärme
- c) Spezifische Wärmekapazität
- d) Schmelzpunkt
- e) Spezifische Schmelzwärme
- f) Wovon hängt der Siedepunkt einer Flüssigkeit ab?
- g) Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Siedepunkt einer Flüssigkeit und dem Luftdruck? Formulieren Sie einen «je... desto... »-Satz.
- h) Verdampfen/Sieden/Verdunsten
- i) Spezifische Verdampfungswärme
- j) Wie funktioniert ein Kühlschrank? (Erklärung anhand einer vorgegebenen Skizze)
- k) Wie funktioniert eine Wärmepumpe? (Erklärung anhand einer vorgegebenen Skizze)
- l) Skizzieren Sie (qualitativ) ein Energieflussdiagramm für eine Wärmepumpe.
- m) Leistungszahl
- n) Nennen Sie drei Arten von Wärmeausbreitung
- o) Was versteht man unter Wärmeleitung/Konvektion/Wärmestrahlung?
- p) Nennen Sie je ein Beispiel für einen guten und einen schlechten Wärmeleiter
- q) Emission/Absorption/Reflexion
- r) Wie funktioniert ein konventionelles Wärmekraftwerk? (Erklärung anhand einer vorgegebenen Skizze)
- s) Skizzieren Sie (qualitativ) ein Energieflussdiagramm für eine Wärmearbeitsmaschine.
- t) Carnotscher Wirkungsgrad

Formeln: An der Prüfung erhalten Sie ein Formelblatt. Auf dem Formelblatt finden Sie alle Formeln, die Sie brauchen, sowie Tabellenwerte und ein paar wichtige Formeln aus der Mathematik. Das Formelblatt können Sie auf ga.perihel.ch anschauen und herunterladen.

Fähigkeiten: Diese Fähigkeiten müssen Sie beherrschen.

- ☛ Die Welt aus verschiedenen Bezugssystemen betrachten
- ☛ 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
- ☛ Diagramme zeichnen und interpretieren
- ☛ Fehlerschranken ausrechnen und korrekt angeben für Resultate, die aus Messwerten (mit Fehlerschranken) berechnet wurden
- ☛ Aufgaben mit vektoriellen Grössen zeichnerisch und rechnerisch lösen
- ☛ Alle Kräfte, die an einem Körper angreifen, in einem Kräfteplan aufzeichnen
- ☛ Die Einheit bar in Pascal umrechnen und umgekehrt
- ☛ Energieflussdiagramme zeichnen und interpretieren

Physikalische Grössen: Für diese physikalischen Grössen müssen Sie Symbol und Einheit kennen.

	Symbol	Einheit		Symbol	Einheit
Kraft			Fläche		
Druck			Dichte		
Temperatur in der Kelvin-Skala			Temperatur in der Celsius-Skala		
innere Energie			Wärme		
(spezifische Wärmekapazität)			Arbeit		
(spezifische Schmelzwärme)			Schmelzpunkt		
(spezifische Verdampfungswärme)			Siedepunkt		
Leistungszahl			Carnotscher Wirkungsgrad		

Übungsaufgaben: Bei allen Aufgaben muss der Lösungsweg klar ersichtlich sein (d.h. die Formel, mit der gerechnet wurde, gehört auch dazu).
Resultate müssen unterstrichen sein (Einheiten nicht vergessen!).

Alle Arbeitsblätter, Theorieblätter sowie Aufgabenblätter A10 – A14, Praktikum P4 – P6

Internet

www.leifiphysik.de

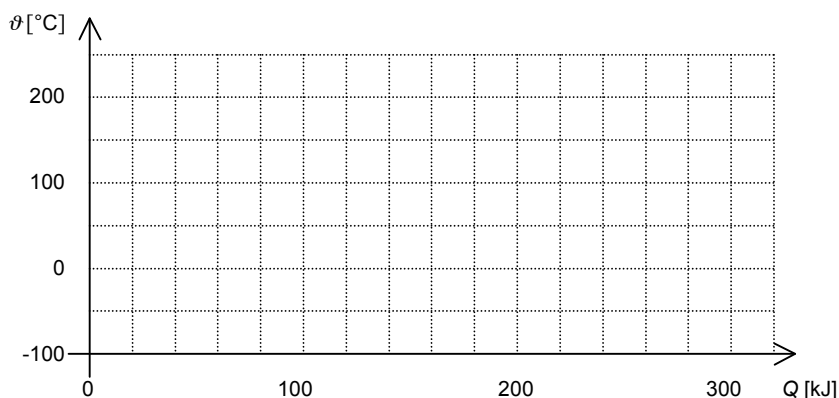
wählen Sie unter «Inhalte nach Teilgebieten der Physik» → Wärmelehre

- Allgemeines Gasgesetz
- Innere Energie - Wärmekapazität
- Wärmekraftmaschinen
- Wärmetransport

Weitere Aufgaben

1. Bei starker Kälte plustern sich Vögel auf. Was ist der Grund dafür?
2. Warum verwendet man Fenster mit Doppelverglasung?
3. Was ist kälter: Der Hammerkopf oder der Hammerstiel?
4. Warum kühlt es in sternklaren Nächten besonders stark ab und weniger stark, wenn der Himmel bedeckt ist?
5. Wenn eine Heizung in Betrieb ist, erwärmt sich das Zimmer nicht nur an der Stelle, an der geheizt wird (Luft ist ein sehr schlechter Wärmeleiter). Warum?

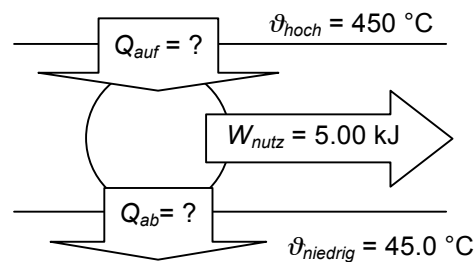
6. Ein mit Wasserstoff gefüllter Ballon hat bei 0.9998090 bar und 300.00 K ein Volumen von 0.007070 m^3 . Dann wird er in die Höhe gebracht, wo ein Druck von 0.702960 bar und eine Temperatur von 250.01 K herrschen.
- Wie viele signifikante Ziffern besitzen die fünf Zahlenwerte? Wie viele Ziffern sollte das Resultat besitzen?
 - Rechnen Sie aus, wie gross das Volumen des Ballons in der Höhe ist (in m^3 , in ℓ und in mm^3) und runden Sie das Resultat auf die richtige Anzahl signifikanter Ziffern.
 - Notieren Sie die Resultate mit einer Zehnerpotenz in der üblichen Form.
7. Faris hat im Praktikum die spezifische Wärmekapazität einer unbekannten Flüssigkeit bestimmt. Er füllte $(2409 \pm 1) \text{ g}$ der Flüssigkeit in einen isolierten Behälter, und erhitze sie während $(5.7 \pm 0.1) \text{ min}$ mit einem Tauchsieder der Leistung $(879.5 \pm 0.5) \text{ W}$. Dabei nahm die Temperatur um $(63.4 \pm 0.2) \text{ K}$ zu.
Geben Sie die spezifische Wärmekapazität korrekt mit (absoluter) Fehlerschranke an. Um welchen Stoff könnte es sich handeln?
8. Ein 4.00 t schwerer Eisberg ($\vartheta = -10.0^\circ \text{C}$) wird erwärmt, geschmolzen, und dann wird das entstandene Wasser auf $+10.0^\circ \text{C}$ erwärmt.
- Welche Vorgänge spielen sich hier ab? (drei)
 - Berechnen Sie die Wärme, die für jeden einzelnen der drei Vorgänge benötigt wird.
 - Wie viel Wärme wird insgesamt benötigt?
 - Welcher Vorgang braucht am meisten Wärme?
9. Sie haben 80 g Wasser, das sich zuerst bei -100°C im festen Zustand befindet. Dem «festen Wasser» (= Eis) wird Wärme zugeführt und dabei wird ständig die Temperatur gemessen, bis die Temperatur 200°C erreicht.
Berechnen Sie den Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der zugeführten Wärme und zeichnen Sie diesen ins untenstehende Diagramm ein. Die notwendigen Daten entnehmen Sie bitte der Tabelle.



10. 2.50 ℓ Alkohol werden von Zimmertemperatur ($\vartheta = 19.0^\circ \text{C}$) zum Sieden gebracht und anschliessend vollständig verdampft ($p = 1'013 \text{ mbar}$).
Wie viel Wärme muss dem Alkohol insgesamt zugeführt werden?
11. Wasser, das in einer flachen Schale in einem warmen Zimmer steht, verdunstet allmählich. Dabei kühlt es sich auch ab. Warum gefriert es nicht schliesslich?
12. Die Windrichtung kann man bestimmen, indem man einen Finger anfeuchtet und dann hochhält. Wie funktioniert das?
13. 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?
14. Wasserdampf von 100°C ruft weit schlimmere Verbrennungen hervor als die gleiche Menge Wasser von 100°C . Warum?

15. Eine Klimaanlage funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie ein Kühlschrank.
- a) Vervollständigen Sie: «Um einen Raum zu kühlen, muss Wärme von
 (innen/aussen) nach (innen/aussen) transportiert werden. Die Wärme wird
 mit Hilfe eines Kältemittels transportiert, welches im Raum drin Wärme
 (aufnimmt/abgibt) und draussen (aufnimmt/abgibt). Das Kältemittel wird im
 Raum drin zum (verdampfen/kondensieren) gebracht und an der
 Aussenseite zum (verdampfen/kondensieren) gebracht. Dazu wird
 im Raum drin der Druck auf das Kältemittel (erhöht/erniedrigt) und
 an der Aussenseite (erhöht/erniedrigt). Die Erhöhung der Drucks er-
 reicht man mit Hilfe eines (Kompromisses/Kompressors/Komitees).»
- b) Warum blasen Klimaanlage warme Luft nach draussen?

16. Vervollständigen Sie das nebenstehende
 Energieflussdiagramm für eine Wärme-
 arbeitsmaschine.
 Wie gross ist der carnotsche Wirkungs-
 grad?



17. Mit einer Erdwärmesonde von etwa 200 m Länge ist es prinzipiell möglich, ohne zusätzliche Heizanlagen, ein Einfamilienhaus zu beheizen und den Warmwasserbedarf abzudecken. In dieser Tiefe beträgt die Temperatur das ganze Jahr über (auch im Winter) ca. 15 °C. Mit dieser Erdwärme wird eine elektrische Wärmepumpe ($\varepsilon = 4$) betrieben. Wie gross ist die Heizungstemperatur in °C?
18. Bei einem Ottomotor beträgt die Temperatur der Verbrennungsgase 600 °C, und die Temperatur beim Auspuff beträgt 80 °C. Wie gross ist der maximal erreichbare Wirkungsgrad?
19. Wann ist der Wirkungsgrad eines Wärmekraftwerks besonders gross? Bei einem grossen oder einem kleinen Temperaturunterschied zwischen T_{hoch} und T_{niedrig} ? Begründen Sie Ihre Antwort.
20. Bleigiessen: 50.0 g Blei wird vollständig geschmolzen und dann in ein Wasserbecken (1.00 dℓ) gegossen (Zimmertemperatur: $\vartheta = 23.0$ °C).
- a) Wieviel Energie ist insgesamt nötig, um das Blei von 23.0 °C zu erwärmen und zu schmelzen?
- b) Auf welche Temperatur erwärmt sich das Wasser, nachdem das Blei hinzugegeben wurde?
21. 2.6 dℓ Milch (= 260 g Wasser) von 8.0 °C werden mit dem Dampferhitzer einer Espresso-maschine von 8.0 °C auf 35 °C erhitzt. Dazu leitet man Wasserdampf von 100 °C in die Milch ein.
- a) Welche zwei Vorgänge geschehen mit dem Wasserdampf?
- b) Wie viele g Wasserdampf braucht man dazu?
- c) Wie gross ist die Endtemperatur, wenn man 16.5 g Wasserdampf in die Milch einleitet?
22. In einem geschlossenen Behälter befinden sich 98.0 g Wasserdampf. Wie viele Gramm Eis muss man dazugeben, so dass man als Endprodukt des «Gemisches» Wasser von 0 °C erhält?

Lösungen:

1. Damit es zwischen den Federn ein Luftpolster gibt. Luft ist ein sehr schlechter Wärmeleiter und isoliert daher gut.
2. Zwischen den Fenstern befindet sich Luft, die sehr gut isoliert.
3. Beide gleich warm; der Hammerkopf scheint kälter, da er die Wärme der Hand, die ihn berührt, schneller wegleitet.
4. In der Nacht wird Wärme abgestrahlt, ohne dass gleichzeitig die Sonne Energie in Form von Strahlung «nachliefert». Wenn der Himmel bedeckt ist, wird diese Wärmestrahlung zum Teil an den Wolken reflektiert und wieder auf die Erde zurückgeworfen. Das ist in sternklaren Nächten nicht der Fall.
5. Weil die Luft im Zimmer zirkuliert (Konvektion). Die warme Luft über dem Heizkörper steigt auf, sinkt hinten im Zimmer wieder nach unten, kühlt sich dabei ab, etc.

6. a) $p_1: 7 \quad T_1: 5 \quad V_1: 4 \quad p_2: 6 \quad T_2: 5 \quad \text{Resultat: 4}$

b) $V_2 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot p_2} = \frac{0.9998090 \text{ bar} \cdot 0.007070 \text{ m}^3 \cdot 250.01 \text{ K}}{300.00 \text{ K} \cdot 0.702960 \text{ bar}} = \underline{\underline{0.008380 \text{ m}^3}}$
 $= \underline{\underline{8.380 \text{ l}}} = \underline{\underline{8'380'000 \text{ mm}^3}}$

c) $\underline{\underline{8.380 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}} = \underline{\underline{8.380 \text{ l}}} = \underline{\underline{8.380 \cdot 10^6 \text{ mm}^3}}$

7. $Q = \Delta U = c \cdot m \cdot \Delta T = P \cdot t \quad c = \frac{P \cdot t}{m \cdot \Delta T} = \frac{879.5 \text{ W} \cdot 342 \text{ s}}{2.409 \text{ kg} \cdot 63.4 \text{ K}} = 1'969.408880 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$

$c_{\max} = \frac{P_{\max} \cdot t_{\max}}{m_{\min} \cdot \Delta T_{\min}} = \frac{880.0 \text{ W} \cdot 348 \text{ s}}{2.408 \text{ kg} \cdot 63.2 \text{ K}} = 2'012.279742 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$

$\Delta c = c_{\max} - c = 2'012.279742 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} - 1'969.408880 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} = 42.87086200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} = 40 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$

$c = (1'970 \pm 40) \frac{\text{J}}{\text{kgK}} = (1.97 \pm 0.04) \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \quad \underline{\underline{\text{Olivenöl}}} (c = 1.97 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kgK}})$

8. a) 1. Erwärmen des Eises - 2. Schmelzen des Eises - 3. Erwärmen des Wassers

b) 1.: $Q_1 = c_{\text{Eis}} \cdot m \cdot \Delta T = 2'090 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 4'000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ K} = 83'600'000 \text{ J} = \underline{\underline{83.6 \text{ MJ}}}$

2.: $Q_2 = L_f \cdot m = 334'000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 4'000 \text{ kg} = 1'336'000'000 \text{ J} = \underline{\underline{1.34 \text{ GJ}}}$

3.: $Q_3 = c_{\text{Wasser}} \cdot m \cdot \Delta T = 4'182 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 4'000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ K} = 167'280'000 \text{ J} = \underline{\underline{167 \text{ MJ}}}$

c) $Q_{\text{gesamt}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 83.6 \text{ MJ} + 1'340 \text{ MJ} + 167 \text{ MJ} = \underline{\underline{1'590 \text{ MJ}}}$

d) Schmelzvorgang

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

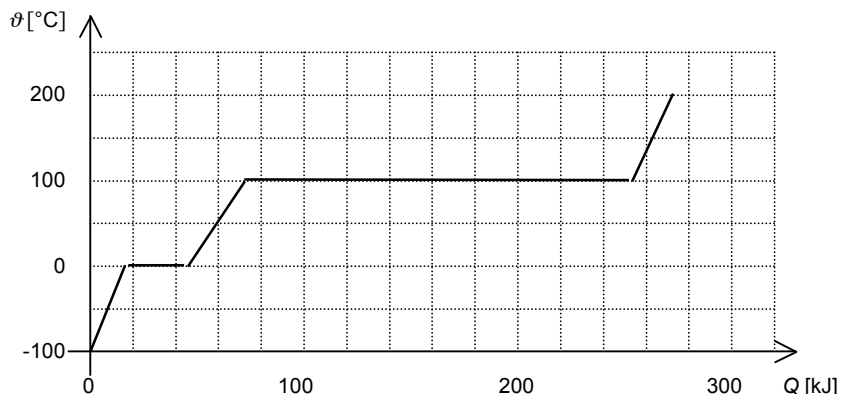
Eis schmelzen: $Q_{\text{Schmelzen}} = L_f \cdot m = 3.34 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0.080 \text{ kg} = 26'720 \text{ J} = \underline{\underline{27 \text{ kJ}}}$

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

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

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

$14'904 \text{ J}$
 $= \underline{\underline{15 \text{ kJ}}}$



10. Siedepunkt von Alkohol: 78.3 °C

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

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

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

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

11. Weil die Temperatur nicht tiefer als die der Umgebung werden kann.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. a) «Um einen Raum zu kühlen, muss Wärme von **innen** nach **aussen** transportiert werden. Die Wärme wird mit Hilfe eines Kältemittels transportiert, welches im Raum drin Wärme **aufnimmt** und draussen **abgibt**. Das Kältemittel wird im Raum drin zum **verdampfen** gebracht und an der Aussenseite zum **kondensieren** gebracht. Dazu wird im Raum drin der Druck auf das Kältemittel **erniedrigt** und an der Aussenseite **erhöht**. Die Erhöhung der Drucks erreicht man mit Hilfe eines **Kompressors**.»
b) Weil die Wärme ausserhalb des Raums, der gekühlt wird, abgegeben werden muss.

$$16. \quad \eta = \frac{T_{\text{hoch}} - T_{\text{niedrig}}}{T_{\text{hoch}}} = \frac{723 \text{ K} - 318 \text{ K}}{723 \text{ K}} = 0.56 = \underline{56\%}$$

$$Q_{\text{auf}} = \frac{W_{\text{nutz}}}{\eta} = \frac{5.00 \text{ kJ}}{0.56} = \underline{8.93 \text{ kJ}}$$

$$Q_{\text{ab}} = Q_{\text{auf}} - W_{\text{nutz}} = 8.93 \text{ kJ} - 5.00 \text{ kJ} = \underline{3.93 \text{ kJ}}$$

$$17. \quad \varepsilon = \frac{T_{\text{hoch}}}{T_{\text{hoch}} - T_{\text{niedrig}}} \Rightarrow \varepsilon(T_{\text{hoch}} - T_{\text{niedrig}}) = T_{\text{hoch}} \Rightarrow \varepsilon \cdot T_{\text{hoch}} - \varepsilon \cdot T_{\text{niedrig}} = T_{\text{hoch}}$$

$$\Rightarrow \varepsilon \cdot T_{\text{hoch}} - T_{\text{hoch}} = \varepsilon \cdot T_{\text{niedrig}} \Rightarrow T_{\text{hoch}}(\varepsilon - 1) = \varepsilon \cdot T_{\text{niedrig}}$$

$$\Rightarrow T_{\text{hoch}} = \frac{\varepsilon \cdot T_{\text{niedrig}}}{\varepsilon - 1} = \frac{4 \cdot 288 \text{ K}}{3} = 384 \text{ K} = \underline{111 \text{ °C}}$$

$$18. \quad \eta = \frac{T_{\text{hoch}} - T_{\text{niedrig}}}{T_{\text{hoch}}} = \frac{873 \text{ K} - 353 \text{ K}}{873 \text{ K}} = 0.596 = \underline{60 \text{ \%}}$$

19. Was über dem Bruchstrich steht, sollte möglichst gross sein, dann wird das Resultat gross.

$$\text{Wegen } \eta = \frac{T_{\text{hoch}} - T_{\text{niedrig}}}{T_{\text{hoch}}} \text{ sollte die Temperaturdifferenz } (T_{\text{hoch}} - T_{\text{niedrig}}) \text{ möglichst gross sein.}$$

20. a) Energie zum Erwärmen (von 23 °C bis zum Schmelzpunkt von 327 °C):

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

Energie zum Schmelzen (beim Schmelzpunkt):

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

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

- b) 1. Vorgang: Blei wird fest - Wasser erwärmt sich. Die ausgetauschte Wärme ist (die Erstarrungswärme wird vom Blei ans Wasser abgegeben): $Q_{\text{Schmelzen}} = Q_{\text{Erstarren}} = \Delta U_{\text{Wasser}}$

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

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

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

2. Vorgang: Blei kühlt sich ab – Wasser erwärmt sich. Die ausgetauschte Wärme ist (die Wärme wird vom Blei ans Wasser abgegeben): $\Delta U_{\text{Blei}} = \Delta U_{\text{Wasser}}$

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

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

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

21. a) ① Kondensieren des Wasserdampfs bei 100 °C

② Abkühlen des kondensierten Wassers (aus dem Wasserdampf) von 100 °C auf 35 °C

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

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

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

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

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

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

Auflösen nach ϑ_{End} ergibt

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

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

$$= \underline{46^\circ\text{C}}$$

22. 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 Wärme, die vom Wasserdampf abgegeben wird (2 Vorgänge: Kondensieren und Abkühlen) wird vom Eis aufgenommen (1 Vorgang: Schmelzen)

$$Q_{\text{Schmelzen}} = Q_{\text{kondensieren}} + Q_{\text{abkühlen}}$$

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

Auflösen nach m_{Dampf} ergibt

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

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