PROBEPÜFUNG WÄRMELEHRE I – Lösungen

1. *Klebriger Eiswürfel? (3 Punkte)*

   Der Eiswürfel hat eine **Temperatur**, die deutlich unter dem Gefrierpunkt von Wasser und sehr deutlich unter der **Temperatur** des bisschen Speichels an der Oberfläche der Lippe liegt. Beim **thermischen Kontakt** mit dem Speichel wird diesem deshalb rasch viel **innere Energie** in Form von **Wärme** entzogen wird, wodurch er gefrieren kann. Der Wärmeaustausch versucht die beiden Körper – Speichel und Eis – ins **thermische Gleichgewicht** zu bringen. Gefriert der Speichel, so klebt der Eiswürfel an der Lippe. Beim Versuch ihn in diesem Moment zu entfernen kann die Lippenoberfläche mitgerissen werden – sicher eine recht schmerzhafte Angelegenheit.

   Man muss schon warten, bis die durchblutete Lippe hinreichend **Wärme** nachgeliefert und so den gefrorenen Speichel wieder verflüssigt hat.

2. *Das Raclettefest (5 Punkte)*

   Pro Ofen und pro 4 Minuten ergibt sich folgende zu erwärmende und zu schmelzende Gesamtkäsemasse: (0.5 P)

   $$m = 6 \cdot 40\,\mathrm{g} = 240\,\mathrm{g} = 0.24\,\mathrm{kg}$$

   Schätzen wir ab, welche Wärmemenge dafür benötigt wird: (2.5 P)

   $$\begin{aligned} Q &= Q_{\text{erwärmen}} + Q_{\text{schmelzen}} = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta + L_\mathrm{f} \cdot m \\ &= 3000\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg} \cdot {}^\circ\mathrm{C}} \cdot 0.24\,\mathrm{kg} \cdot 50\,^\circ\mathrm{C} + 100 \cdot 10^3\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}} \cdot 0.24\,\mathrm{kg} = 36\,000\,\mathrm{J} + 24\,000\,\mathrm{J} = 60\,000\,\mathrm{J} \end{aligned}$$

   Diese Energiemenge macht allerdings nur $25\,\%$ der elektrischen Energie aus, welche der Ofen pro $4\,\mathrm{min}$ empfangen muss. Der Ofen bezieht also pro $4\,\mathrm{min}$ eine elektrische Energie von: (0.5 P)

   $$\Delta E = \frac{100}{25} \cdot Q = \frac{100}{25} \cdot 60\,000\,\mathrm{J} = 240\,000\,\mathrm{J}$$

   Jetzt kann man die ungefähre elektrische Leistung eines Ofens bestimmen: (1 P)

   $$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{240\,000\,\mathrm{J}}{240\,\mathrm{s}} = 1000\,\mathrm{W} = 1\,\mathrm{kW}$$

   D.h., man könnte **wahrscheinlich 2 Öfen** gleichzeitig auf dieser Stufe betreiben, mit dem dritten Ofen dürfte es problematisch werden bezüglich der Stromsicherung. (0.5 P)

3. *Unterstützte Verdunstung (4 Punkte)*

   (a) Wärmere Herdplatte ⇒ Tropfen besitzt höhere Temperatur und somit im Mittel **mehr kinetische Energie pro Teilchen**. (0.5 P)

   Maxwell-Boltzmann-Geschwindigkeitsverteilung bei höherer Temperatur ⇒ es gibt mehr Teilchen mit der notwendigen Energie zum Verlassen des Tropfens! (1 P)

   ⇒ es werden mehr Teilchen pro Zeiteinheit den Tropfen verlassen können. Verdunsten geht schneller. (0.5 P)

(b) **Grund 1:** Verstreichen vergrößert die Tropfenoberfläche $\Rightarrow$ Wahrscheinlichkeit ist größer, dass sich ein momentan besonders schnelles Wassermolekül zudem an der Tropfengrenze befindet und den Tropfen tatsächlich verlassen kann. (1 P)

Grund 2: Verstreichen vergrössert Berührungsfläche zwischen Platte und Tropfen $\Rightarrow$ thermischer Kontakt ist besser. Es kann mehr Wärme pro Zeitspanne von der Platte an den Tropfen übertragen werden $\Rightarrow$ Tropfen wird bei Abkühlung durch das Verdunsten besser nachgeheizt. (1 P)

4. *"Ä heissi Schoggi" (8 Punkte)*

(a) Die Masse der Milch beträgt: (0.5 P)

$$m_{\mathrm{M}} = \varrho_{\mathrm{M}} \cdot V_{\mathrm{M}} = 1.03\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{lit.}} \cdot 0.185\,\mathrm{lit.} \overset{0.5}{=} 0.1906\,\mathrm{kg}$$

Um diese Masse auf Serviertemperatur zu erwärmen, wird folgende Wärme benötigt: (1 P)

$$Q_{\mathrm{M}} = c_{\mathrm{M}} \cdot m_{\mathrm{M}} \cdot \Delta\vartheta_{\mathrm{M}} \overset{0.5}{=} 3850\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot{}^\circ\mathrm{C}} \cdot 0.1906\,\mathrm{kg} \cdot (78\,^\circ\mathrm{C} - 4.0\,^\circ\mathrm{C}) \overset{0.5}{=} 54\,300\,\mathrm{J}$$

Analog erhalten wir für die Erwärmung der Tasse: (0.5 P)

$$Q_{\mathrm{T}} = c_{\mathrm{T}} \cdot m_{\mathrm{T}} \cdot \Delta\vartheta_{\mathrm{T}} = 730\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot{}^\circ\mathrm{C}} \cdot 0.21\,\mathrm{kg} \cdot (78\,^\circ\mathrm{C} - 21\,^\circ\mathrm{C}) = 8740\,\mathrm{J}$$

Insgesamt wird für die Erwärmung von Milch und Tasse die folgende Wärmemenge benötigt: (1 P)

$$Q_{\mathrm{total}} \overset{0.5}{=} Q_{\mathrm{M}} + Q_{\mathrm{T}} = 54\,300\,\mathrm{J} + 8740\,\mathrm{J} = 63\,040\,\mathrm{J} \overset{0.5}{\simeq} \underline{\underline{63\,\mathrm{kJ}}}$$

(b) Der Dampf muss die eben berechnete Wärmemenge an Milch und Tasse abgeben. Wasserdampf von $100\,^\circ\mathrm{C}$ enthält einerseits die Kondensationswärme Q_{K}, andererseits die Wärme Q_{A}, die bei der Abkühlung auf $78\,^\circ\mathrm{C}$ abgegeben wird. Wegen der unbekannten Masse müssen wir formal ansetzen. Der Einfachheit halber arbeiten wir direkt mit den Beträgen dieser Wärmemengen (kein Minus für Wärmeabgaben): (2 P)

$$Q_{\mathrm{K}} + Q_{\mathrm{A}} \overset{1.5}{=} L_{\mathrm{v,W}} \cdot m_{\mathrm{W}} + c_{\mathrm{W}} \cdot m_{\mathrm{W}} \cdot \Delta\vartheta_{\mathrm{W}} = m_{\mathrm{W}} \cdot (L_{\mathrm{v,W}} + c_{\mathrm{W}} \cdot \Delta\vartheta_{\mathrm{W}}) \overset{0.5}{=} Q_{\mathrm{total}}$$

Nun können wir nach der gesuchten Masse auflösen und Werte einsetzen: (1.5 P)

$$\begin{aligned} m_{\mathrm{W}} &\overset{0.5}{=} \frac{Q_{\mathrm{total}}}{L_{\mathrm{v,W}} + c_{\mathrm{W}} \cdot \Delta\vartheta_{\mathrm{W}}} \\ &\overset{0.5}{=} \frac{63\,040\,\mathrm{J}}{2.256 \cdot 10^6\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}} + 4182\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot{}^\circ\mathrm{C}} \cdot (100\,^\circ\mathrm{C} - 78\,^\circ\mathrm{C})} = 0.0268\,\mathrm{kg} \overset{0.5}{\simeq} \underline{\underline{27\,\mathrm{g}}} \end{aligned}$$

Mit dem angegebenen Alternativwert für die zur Erhitzung von Milch und Tasse benötigten Wärme erhält man: (1.5 P)

$$\begin{aligned} m_{\mathrm{W}} &\overset{0.5}{=} \frac{Q_{\mathrm{total}}}{L_{\mathrm{v,W}} + c_{\mathrm{W}} \cdot \Delta\vartheta_{\mathrm{W}}} \\ &\overset{0.5}{=} \frac{69\,000\,\mathrm{J}}{2.256 \cdot 10^6\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}} + 4182\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot{}^\circ\mathrm{C}} \cdot (100\,^\circ\mathrm{C} - 78\,^\circ\mathrm{C})} = 0.0294\,\mathrm{kg} \overset{0.5}{\simeq} \underline{\underline{29\,\mathrm{g}}} \end{aligned}$$

(c) Der Wasserdampf auf $100\,^\circ\mathrm{C}$ enthält im Vergleich mit derselben Menge flüssigen Wassers von $100\,^\circ\mathrm{C}$ zusätzlich die **Kondensationswärme**, die an Tasse und Milch abgegeben werden kann. Somit steckt in derselben Menge Wasser mehr Energie. Es bräuchte deutlich mehr flüssiges Wasser von $100\,^\circ\mathrm{C}$, um bei Milch und Tasse dieselbe Temperaturdifferenz zu erreichen – die Schokolade wäre deutlich mehr verwässert. (1.5 P)