

Auswertung

zum Versuch

B04: Spezifische Wärme

Alexander FufaeV

Partner: Jule Heier

Gruppe 254

Inhaltsverzeichnis

2. Bestimmung der Wärmekapazität C_1 des blauen Dewargefäßes.....	3
3. Bestimmung der Schmelzwärme S von Wasser.....	3
4. Bestimmung der Verdampfungswärme Q des Wassers.....	4
5. Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität eines Probekörpers	5
6. Fehlerrechnung	7
7. Materialbestimmung durch das Atomgewicht des Probekörpers.....	8

2. Bestimmung der Wärmekapazität C_1 des blauen Dewargefäßes

Messung:

- Leergewicht des blauen Dewargefäßes: $m_D = 708,59 \text{ g}$
- Gewicht des mit kalte Wasser gefüllten Dewargefäß: $m_D + m_k = 820,73 \text{ g} \Rightarrow m_k = 112,14 \text{ g}$
- Temperatur des kalten Wassers: $T_k = 25,4 \text{ °C}$
- Temperatur des heißen Wassers: $T_w = 97,4 \text{ °C}$
- Mischtemperatur: $T_m = 62,0 \text{ °C}$
- Temperatur des Dewargefäßes mit kaltem und warmem Wasser gefüllt: $m_D + m_k + m_w = 975,11 \text{ g}$
 $\Rightarrow m_w = 154,38 \text{ g}$

Auswertung:

Allgemein gilt nach dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik die Energieerhaltung und daher: Die Menge der vom warmen Wasser abgegebenen Wärme ist gleich der vom kalten Wasser aufgenommenen Wärme:

$$Q_{abgegeben} = Q_{aufgenommen}$$

Allgemein gilt für aufgenommene/abgegebene Wärmemenge eines Stoffes:

$$Q = C * (T_2 - T_1) \quad \text{mit } C = c * m$$

Daraus ergibt sich nach Umformen für die Wärmekapazität des blauen Dewargefäßes:

$$C_1 = c_{H_2O} * (m_w * \frac{T_w - T_m}{T_m - T_k} - m_k)$$

Einsetzen der gemessenen Werte liefert:

$$\begin{aligned} C_1 &= 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} * (154,38 \text{ g} * \frac{(97,4 \text{ °C} - 62,0 \text{ °C})}{(62,0 \text{ °C} - 25,4 \text{ °C})} - 112,14 \text{ g}) \\ &= 155,41 \frac{\text{J}}{\text{K}} \end{aligned}$$

3. Bestimmung der Schmelzwärme S von Wasser

Messung:

- Temperatur des warmen Wassers: $T_w = 64,8 \text{ °C}$
- Gewicht des mit warmem Wasser gefüllten Dewargefäßes: $m_D + m_w = 834,18 \text{ g} \Rightarrow m_w = 125,59 \text{ g}$

- Mischtemperatur: $T_m = 46,7 \text{ °C}$
- Gewicht des mit warmem Wasser und Eis gefüllten Dewargefäßes: $m_D + m_w + m_k = 901,33 \text{ g}$
 $\Rightarrow m_k = 67,15 \text{ g}$
- Annahme: Temperatur des Eises beträgt $T_k = 0 \text{ °C}$

Auswertung:

Aus der Wärmebilanz ergibt sich für die Schmelzwärme S von Wasser:

$$S = \frac{1}{m_k} * ((c_{H_2O} * m_w + C_1)(T_w - T_m) - (c_{H_2O} * m_k)(T_m - T_k))$$

Einsetzen der gemessenen Werte liefert:

$$S = \frac{1}{67,15 \text{ g}} * \left[\left(4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 125,59 \text{ g} + 155,41 \frac{\text{J}}{\text{K}} \right) (64,8 \text{ °C} - 46,7 \text{ °C}) - \left(4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 67,15 \text{ g} \right) (46,7 \text{ °C} - 0 \text{ °C}) \right]$$

$$= 324,58 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

4. Bestimmung der Verdampfungswärme Q des Wassers

Messung:

- Temperatur des kalten Wassers: $T_k = 24,1 \text{ °C}$
- Gewicht des mit kaltem Wasser gefüllten Dewargefäßes: $m_D + m_k = 926,35 \text{ g} \Rightarrow m_k = 217,76 \text{ g}$
- Mischtemperatur: $T_m = 56,8 \text{ °C}$
- Gewicht des gefüllten Dewargefäßes nach dem Einführen des Wasserdampfes:
 $m_D + m_k + m_w = 943,43 \text{ g} \Rightarrow m_w = 17,08 \text{ g}$
- Annahme Temperatur des Wasserdampfes: $T_w = 100 \text{ °C}$

Auswertung:

Aus der Wärmebilanz ergibt sich für die Verdampfungswärme des Wassers:

$$Q = \frac{1}{m_w} * ((c_{H_2O} * m_k)(T_m - T_k) - (c_{H_2O} * m_w)(T_w - T_m))$$

Einsetzen der gemessenen Werte liefert:

$$Q = \frac{1}{17,08 \text{ g}} * \left[\left(4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 217,76 \text{ g} \right) (56,8 \text{ °C} - 24,1 \text{ °C}) - \left(4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 17,08 \text{ g} \right) (100 \text{ °C} - 56,8 \text{ °C}) \right]$$

$$= 1859,62 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

5. Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität eines Probekörpers

Messung:

- Angabe zur Wärmekapazität des grauen Dewargefäßes: 85 J/K
- Temperatur des heißen Wassers, in dem der Probekörper erwärmt wurde (entspricht der Temperatur des Probekörpers beim Eintauchen ins kalte Wasser): $T_w = 99,3 \text{ °C}$
- Gewicht des grauen Dewargefäßes: $m_D = 243,02 \text{ g}$
- Gewicht des trockenen Probekörpers: $m_p = 741,83 \text{ g}$
- Gewicht des mit Wasser und Probekörper gefüllten Dewargefäßes: $m_D + m_k + m_p = 1335,43 \text{ g}$
 $\Rightarrow m_k = 350,58 \text{ g}$
- Tabelle: Temperaturverlauf

<i>t in s</i>	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270
<i>T in °C</i>	20,0	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,2	20,2	20,2
<i>t in s</i>	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345
<i>T in °C</i>	20,2	22,7	22,9	25,7	28,4	29,4	29,9	30,4	30,9	31,2
<i>t in s</i>	350	355	360	365	370	375	380	385	390	
<i>T in °C</i>	31,4	31,6	31,7	31,8	31,8	32,0	32,0	32,1	32,1	
<i>t in s</i>	420	450	480	510	540	570	600	630	660	690
<i>T in °C</i>	32,1	32,2	32,2	32,2	32,2	32,1	32,1	32,1	32,0	31,9

Auswertung:

In Abbildung 1 ist der Temperaturverlauf dargestellt. Es sind die genäherte Verlaufskurve sowie der Ersatzverlauf eingezeichnet. Um den Ersatzverlauf zu erhalten, wurde zunächst die Temperaturerhöhung vor dem Eintauchen des Probekörpers linear genähert und extrapoliert, ebenso die Temperaturabnahme am Ende. Danach wurde eine Senkrechte so eingezeichnet, dass die Flächen zwischen Ersatzverlauf und „echtem“ Verlauf oben und unten etwa gleich groß sind. Am Ersatzverlauf lassen sich nun an den Schnittpunkten der Senkrechten und der linearen Verläufe Werte für T_k und T_m ablesen:

$$T_k = 20,2 \text{ °C} \quad \text{und} \quad T_m = 32,4 \text{ °C}$$

Aus der Wärmebilanz ergibt sich für die spezifische Wärmekapazität c_p des Probekörpers:

$$c_p = \frac{(c_{H_2O} * m_k + C_2)(T_m - T_k)}{m_p * (T_w - T_m)}$$

Einsetzen der gemessenen und durch den Ersatzverlauf ermittelten Werte liefert:

$$c_p = \frac{(4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} * 350,58 \text{ g} + 85 \frac{\text{J}}{\text{K}})(32,4 \text{ °C} - 20,2 \text{ °C})}{741,83 \text{ g} * (99,3 \text{ °C} - 32,4 \text{ °C})}$$

$$= 381,14 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

6. Fehlerrechnung

Die Messunsicherheiten betragen für alle Temperaturmessungen $\pm 0,1 \text{ °C}$ und für alle Massenmessungen $\pm 0,01 \text{ g}$. Für angegebene Werte, wie die spezifische Wärmekapazität des Wassers c_{H_2O} und die Wärmekapazität C_2 des grauen Dewargefäßes, wird die Messunsicherheit vernachlässigt.

Im in der Versuchsanleitung angegebenen Beispiel wurde die relative Messunsicherheit der gesuchten Größe berechnet, indem die relativen Messunsicherheiten der gemessenen Größen addiert wurden. Dabei wurden die Temperaturdifferenzen jeweils als ein Faktor betrachtet. Mit dieser Methode ergeben sich für die vorangegangenen Versuche folgende relative Messunsicherheiten:

$$2) \frac{\Delta C_1}{C_1} = \frac{\Delta(T_w - T_m)}{(T_w - T_m)} + \frac{\Delta(T_m - T_k)}{(T_m - T_k)} + \frac{\Delta m_w}{m_w} + \frac{\Delta m_k}{m_k}$$

$$= \frac{0,1 \text{ °C}}{35,4 \text{ °C}} + \frac{0,1 \text{ °C}}{36,6 \text{ °C}} + \frac{0,01 \text{ g}}{154,38 \text{ g}} + \frac{0,01 \text{ g}}{112,14 \text{ g}}$$

$$\approx 0,57 \%$$

$$\Rightarrow C_1 = (155,4 \pm 0,9) \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$3) \frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta(T_w - T_m)}{(T_w - T_m)} + \frac{\Delta(T_m - T_k)}{(T_m - T_k)} + \frac{\Delta m_w}{m_w} + \frac{\Delta m_k}{m_k} + \frac{\Delta C_1}{C_1}$$

$$= \frac{0,1 \text{ °C}}{18,1 \text{ °C}} + \frac{0,1 \text{ °C}}{46,7 \text{ °C}} + \frac{0,01 \text{ g}}{125,59 \text{ g}} + \frac{0,01 \text{ g}}{67,15 \text{ g}} + 0,57 \%$$

$$\approx 1,36 \%$$

$$\Rightarrow S = (325 \pm 4) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Der Demtröder gibt einen Wert von $332,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ an. Dieser Wert liegt leider nicht im Fehlerbereich unseres Messwertes, jedoch auch nicht weit davon entfernt. Die obere Grenze unseres Messwertes weicht um etwa 1,14% vom Literaturwert ab.

$$4) \frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta(T_w - T_m)}{(T_w - T_m)} + \frac{\Delta(T_m - T_k)}{(T_m - T_k)} + \frac{\Delta m_w}{m_w} + \frac{\Delta m_k}{m_k} + \frac{\Delta c_1}{c_1}$$

$$= \frac{0,1 \text{ } ^\circ\text{C}}{43,2 \text{ } ^\circ\text{C}} + \frac{0,1 \text{ } ^\circ\text{C}}{32,7 \text{ } ^\circ\text{C}} + \frac{0,01 \text{ g}}{17,08 \text{ g}} + \frac{0,01 \text{ g}}{217,76 \text{ g}} + 0,57 \%$$

$$\approx 1,17 \%$$

$$\Rightarrow Q = (1860 \pm 22) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Der Demtröder gibt einen Wert von $2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ an. Auch mit diesem Wert ist unsere Messung leider nicht konsistent; ihre obere Grenze weicht um etwa 16,58% vom Literaturwert ab.

$$5) \frac{\Delta c_P}{c_P} = \frac{\Delta(T_w - T_m)}{(T_w - T_m)} + \frac{\Delta(T_m - T_k)}{(T_m - T_k)} + \frac{\Delta m_P}{m_P} + \frac{\Delta m_k}{m_k}$$

$$= \frac{0,1 \text{ } ^\circ\text{C}}{66,9 \text{ } ^\circ\text{C}} + \frac{0,1 \text{ } ^\circ\text{C}}{12,2 \text{ } ^\circ\text{C}} + \frac{0,01 \text{ g}}{742,83 \text{ g}} + \frac{0,01 \text{ g}}{350,58 \text{ g}}$$

$$\approx 0,97 \%$$

$$\Rightarrow c_P = (381 \pm 4) \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

7. Materialbestimmung durch das Atomgewicht des Probekörpers

Allgemein gilt:

$$c * A_g = 24,9 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Dabei ist A_g nicht wirklich das Atomgewicht, sondern die Masse (in kg) eines Mols des Stoffes. Der Betrag in Gramm entspricht allerdings dem Atomgewicht, welches in Unit (u) angegeben wird.

Demnach berechnet sich diese Masse eines Körpers, dessen spezifische Wärmekapazität bekannt ist, durch:

$$A_g = \frac{24,9 \frac{\text{J}}{\text{K}}}{c_{\text{Körper}}}$$

Das Atomgewicht des Probekörpers beträgt also maximal:

$$A_{g,max} = \frac{24,9 \frac{\text{J}}{\text{K}}}{377 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = 66,0 \text{ g} \rightarrow 66,0 \text{ u}$$

Und es beträgt minimal:

$$A_{g,min} = \frac{24,9 \frac{\text{J}}{\text{K}}}{385 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = 64,7 \text{ g} \rightarrow 64,7 \text{ u}$$

Im Bereich dieser Atommasse befindet sich nur Zink, dessen Atommasse laut Periodensystem der Elemente auf Wikipedia 65,409 u im natürlichen Isotopengemisch beträgt. Sollte der Probekörper also aus einem reinem Metall bestehen, so ist er nach unserer Messung aus Zink.

Bemerkung: Zink sieht jedoch silberfarben aus, unser Probekörper hatte eher ein bräunliches Aussehen. Daher denke ich nicht, dass der Probekörper aus reinem Zink bestand, sondern aus einem Gemisch verschiedener Metalle, deren Atomgewichte zusammengenommen im Durchschnitt einen Wert von 64,7 u bis 66,0 u ergeben. Dafür käme zum Beispiel Messing als Legierung aus Kupfer ($m_{\text{Atom}} = 63,546 \text{ u}$) und Zink sowie geringen Anteilen anderer Metalle.