

## B04 Spezifische Wärmen

### ② Bestimmung der Wärmekapazität C eines Dewargefäßes

Formeln & Konstanten:

$$m_w \cdot c_{H_2O} \cdot (T_w - T_M) = (m_k \cdot c_{H_2O} + C_A) \cdot (T_M - T_k)$$

$$c_{H_2O} = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Messergebnisse:

$$m_{\text{Dew, leer}} = 662,48 \text{g}$$

$$m_{\text{Dew, leer}} + m_k = 777,50 \text{g} \quad ; \quad m_k = 777,50 \text{g} - m_{\text{Dew, leer}}$$

$$\underline{m_k = 115,02 \text{g}} = 115,02 \cdot 10^{-3} \text{kg}$$

$$m_{\text{Dew, leer}} + m_k + m_w = 835,78 \text{g} \quad ; \quad m_w = 835,78 \text{g} - m_{\text{Dew, leer}} - m_k$$

$$\underline{m_w = 58,28 \text{g}} = 58,28 \cdot 10^{-3} \text{kg}$$

$$\underline{T_k = 291,15 \text{K}} \quad (18^\circ\text{C})$$

$$\underline{T_w = 372,95 \text{K}} \quad (99,8^\circ\text{C})$$

$$\underline{T_M = 316,95 \text{K}} \quad (43,8^\circ\text{C})$$

Rechnung:

$$m_w \cdot c_{H_2O} \cdot (T_w - T_M) = (m_k \cdot c_{H_2O} + C_A) \cdot (T_M - T_k) \quad | : (T_M - T_k)$$

$$\frac{m_w \cdot c_{H_2O} \cdot (T_w - T_M)}{(T_M - T_k)} = m_k \cdot c_{H_2O} + C_A \quad | - m_k \cdot c_{H_2O}$$

$$\frac{m_w \cdot c_{H_2O} \cdot (T_w - T_M)}{(T_M - T_k)} - m_k \cdot c_{H_2O} = C_A$$

$$\frac{58,20 \cdot 10^{-3} \text{kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (372,95 \text{K} - 316,95 \text{K})}{(316,95 \text{K} - 291,15 \text{K})} - 115,02 \cdot 10^{-3} \text{kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = C_A$$

$$\underline{\underline{C_1 = 0,04798 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}}}$$

Fehlerrechnung:

$$C_{1,\text{min}} = \frac{0,05827 \text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 55,6 \text{ K}}{26,2 \text{ K}} - 0,11501 \text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = \underline{\underline{0,03614 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}}} = C_{1,\text{min}}$$

$$\Delta C_{1,\text{min}} = 0,0118 \approx 24,6\%$$

$$C_{1,\text{max}} = \frac{0,05829 \text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 56,4 \text{ K}}{25,4 \text{ K}} - 0,11503 \text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = \underline{\underline{0,06020 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}}} = C_{2,\text{min}}$$

$$\Delta C_{1,\text{max}} = 0,0123 \approx 25,7\%$$

### 3 Bestimmung der Schmelzwärme $S$ von Wasser

Formeln & Konstanten:

$$(m_w \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} + C_1) \cdot (T_w - T_M) = m_k \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_M - T_k) + m_k \cdot S$$

$$c_{\text{H}_2\text{O}} = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$C_1 = 4,8 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \quad (\text{Nur für dieses Dewargefäß verwendbar})$$

Messergebnisse:

$$m_{\text{Dew, leer}} = 662,48 \text{ g}$$

$$m_{\text{Dew, leer}} + m_w = 852,8 \text{ g} \quad ; \quad m_w = 852,8 \text{ g} - m_{\text{Dew, leer}}$$

$$\underline{\underline{m_w = 190,32 \text{ g}}} = 190,32 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$m_{\text{Dew, leer}} + m_w + m_k = 893,55 \text{ g} \quad ; \quad m_k = 893,55 \text{ g} - m_{\text{Dew, leer}} - m_w$$

$$\underline{\underline{m_k = 40,75 \text{ g}}} = 40,75 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\underline{\underline{T_w = 344,05 \text{ K}}} \quad (70,9^\circ\text{C})$$

$$\underline{\underline{T_M = 316,85 \text{ K}}} \quad (43,7^\circ\text{C})$$

$$\underline{\underline{T_k = 273,15 \text{ K}}} \quad (0^\circ\text{C})$$

Rechnung:

$$(m_w \cdot c_{H_2O} + C_1) \cdot (T_w - T_m) = m_k \cdot c_{H_2O} \cdot (T_m - T_k) + m_k \cdot S \quad | - m_k \cdot c_{H_2O} \cdot (T_m - T_k)$$

$$(m_w \cdot c_{H_2O} + C_1) \cdot (T_w - T_m) - m_k \cdot c_{H_2O} \cdot (T_m - T_k) = m_k \cdot S \quad | : m_k$$

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

$$\frac{(190,32 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{kg}} + 4,8 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kJ}}{\text{K}}) \cdot 27,2 \text{ K}}{4,08 \cdot 10^{-2} \text{ kg}} - 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{kg}} \cdot (316,85 \text{ K} - 273,15 \text{ K}) = S$$

$$\underline{S = 378,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

ca. 13% Abweichung vom Literaturwert 332,5 kJ/kg.

Fehlerrechnung:

$$S_{\min} = \frac{(0,19031 \text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{kg}} + 0,03614 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}) \cdot 26,8 \text{ K}}{0,04076 \text{ kg}} - 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{kg}} \cdot 44,1 \text{ K} = \underline{362,47 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = S_{\min}$$

$$\Delta S_{\min} = 16,33 \approx 4,3\%$$

$$S_{\max} = \frac{(0,19033 \text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{kg}} + 0,0602 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}) \cdot 27,6 \text{ K}}{0,04074 \text{ kg}} - 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{kg}} \cdot 43,3 \text{ K} = \underline{398,77 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = S_{\max}$$

$$\Delta S_{\max} = 19,97 \approx 5,3\%$$

#### ④ Bestimmung der Verdampfungswärme $Q$ von Wasser

Formeln & Konstanten:

$$m_w \cdot c_{H_2O} \cdot (T_w - T_m) + m_w \cdot Q = (m_k \cdot c_{H_2O} + C_1) \cdot (T_m - T_k)$$

$$c_{H_2O} = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$C_1 = 4,8 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \quad (\text{Nur für dieses Dewargefäß verwendbar})$$

Messergebnisse:

$$m_k + m_{\text{Dew., leer}} = 887,79 \text{ g} ; m_k = 887,79 \text{ g} - m_{\text{Dew., leer}}$$

$$\underline{m_k = 225,31 \text{ g} = 225,31 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}$$

$$\underline{T_k = 292,35 \text{ K} (19,2^\circ \text{C})}$$

$$\underline{T_w = 373,15 \text{ K} (100^\circ \text{C})}$$

$$\underline{T_m = 330,25 \text{ K} (57,1^\circ \text{C})}$$

$$m_w + m_k + m_{\text{Dew., leer}} = 907,05 \text{ g} ; m_w = 907,05 \text{ g} - m_k - m_{\text{Dew., leer}}$$

$$\underline{m_w = 19,26 \text{ g} = 19,26 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}$$

Rechnung:

$$m_w \cdot c_{H_2O} \cdot (T_w - T_m) + m_w \cdot Q = (m_k \cdot c_{H_2O} + C_1) \cdot (T_m - T_k) \quad | - m_w \cdot c_{H_2O} \cdot (T_w - T_m)$$

$$m_w \cdot Q = (m_k \cdot c_{H_2O} + C_1) \cdot (T_m - T_k) - m_w \cdot c_{H_2O} \cdot (T_w - T_m) \quad | : m_w$$

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

$$Q = \frac{(0,226 \text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} + 0,048 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}) \cdot 37,9 \text{ K}}{0,0193 \text{ kg}} - 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 42,9 \text{ K}$$

$$\underline{Q = 2051,08 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}}$$

ca. 10% Abweichung vom Literaturwert  $2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

## Fehlerrechnung:

$$Q_{\min} = \frac{(0,2599 \text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} + 0,03614 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}) \cdot 37,5 \text{ K}}{0,01931 \text{ kg}} - 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 43,3 \text{ K} = \underline{1998,94 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$
$$\Delta Q_{\min} = 52,14 \approx 3\%$$

$$Q_{\max} = \frac{(0,2601 \text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} + 0,0602) \cdot 38,3}{0,01929} - 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 42,5 \text{ K} = \underline{2100,54 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$
$$\Delta Q_{\max} = 49,46 \approx 2,3\%$$

## 5) Bestimmung der spezifischen Wärme eines Probekörpers

### Formeln & Konstanten:

$$C_p = (c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_k + C_2) \cdot (T_M - T_k) \cdot (m_p \cdot (T_w - T_M))^{-1}$$

$$C_2 = 85 \frac{\text{J}}{\text{K}} \text{ (Nur für dieses Dewargefäß verwendbar)}$$

$$c_{\text{H}_2\text{O}} = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

### Messergebnisse:

$$m_{\text{Dew, leer}} = 243,63 \text{ g}$$

$$m_{\text{Dew, leer}} + m_k = 489,8 \text{ g} ; m_k = 489,8 \text{ g} - m_{\text{Dew, leer}}$$

$$\underline{m_k = 246,17 \text{ g} = 246,17 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}$$

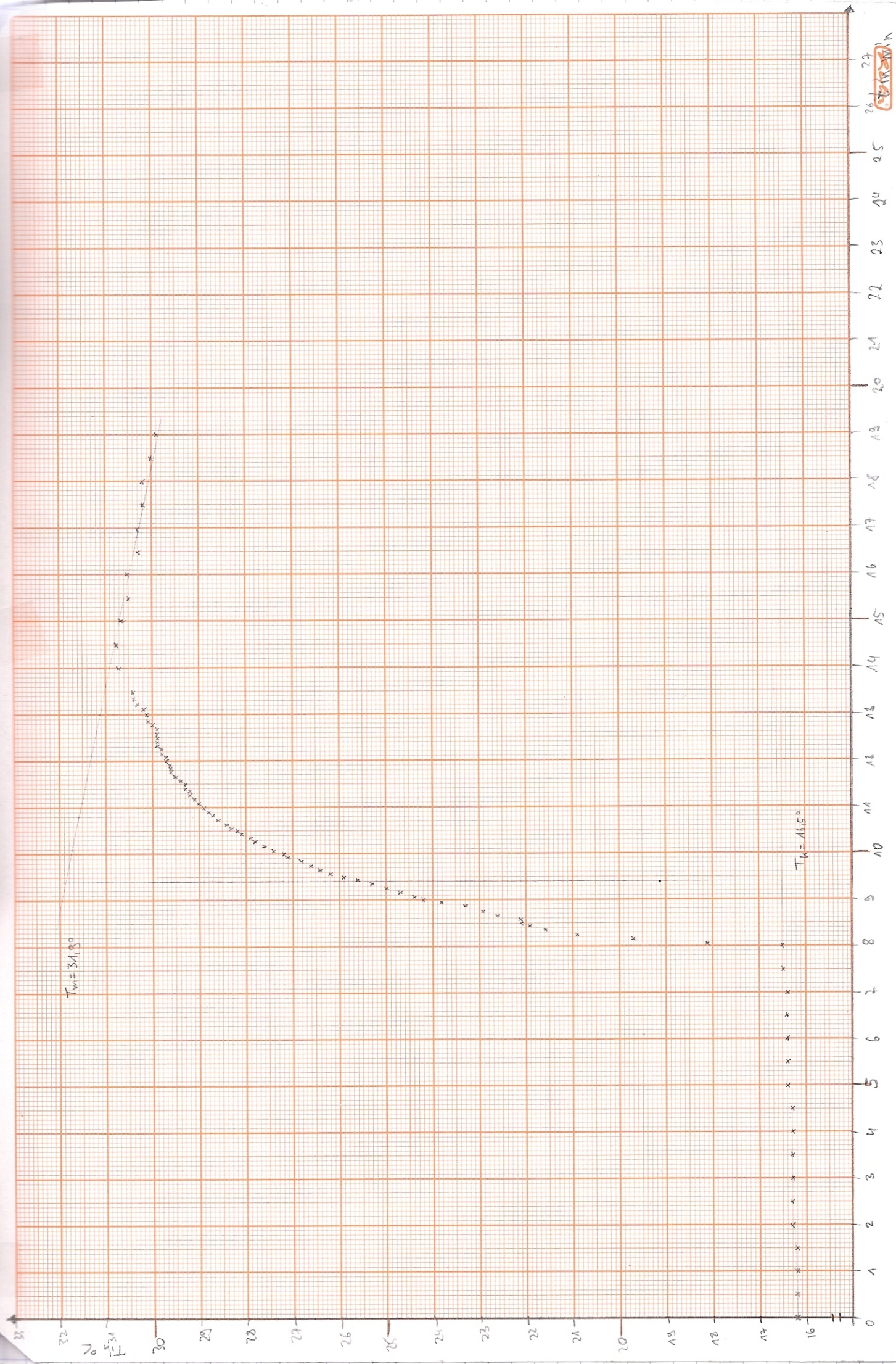
$$\underline{m_p = 645,75 \text{ g} = 645,75 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}$$

$$m_{\text{Dew, leer}} + m_k + m_p = 1135,7 \text{ g} = 1,14 \text{ kg}$$

$$T_w = (99,9^\circ\text{C}) = \underline{373,14 \text{ K}}$$

$$\underline{T_k = 289,7 \text{ K} = (16,55^\circ\text{C})}$$

$$\underline{T_M = 305,15 \text{ K} = (31,9^\circ\text{C})}$$



26  
27

## Rechnung:

$$c_p = \frac{(4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 246,17 \cdot 10^{-3} \text{kg} + 0,085 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}) \cdot (305,14 \text{K} - 389,7 \text{K})}{645,78 \cdot 10^{-3} \text{kg} \cdot (373,14 \text{K} - 305,14 \text{K})} = \underline{\underline{0,391 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}}} \quad \left( \frac{63}{\text{K}\cdot\text{kg}} \right)$$

## Fehlerrechnung:

$$c_{p,\min} = \frac{(4,18 \cdot 0,24616 + 0,085) \cdot 15 \text{K}}{0,64576 \text{kg} \cdot 68,4 \text{K}} = \underline{\underline{0,37 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}}}$$
$$\Delta c_{p,\min} = 0,013 \approx 4\%$$

$$c_{p,\max} = \frac{(4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 0,24618 \text{kg} + 0,085 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}) \cdot 15,84 \text{K}}{0,64574 \text{kg} \cdot 67,6 \text{K}} = \underline{\underline{0,40 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}}}$$
$$\Delta c_{p,\max} = 0,013 \approx 4\%$$

## 6 Fehlerrechnung:

Messfehler für alle Temperaturen  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  und für alle Massen  $\pm 0,01\text{g}$

Versuch ②, Wärmekapazität  $C$  des Dewargefäßes (S.14)

$$C_{\min} = 36,14 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

$$C_{\max} = 60,20 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

Versuch ③, Schmelzwärme  $S$  von Wasser (S.15)

$$S_{\min} = 362,47 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$S_{\max} = 398,77 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Versuch ④, Verdampfungswärme  $Q$  von Wasser (S.17)

$$Q_{\min} = 1998,94 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{\max} = 2100,54 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Versuch ⑤, Spezifische Wärme eines Probekörpers (S.18)

$$c_{p,\min} = 0,37 \frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$$

$$c_{p,\max} = 0,40 \frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$$

## 7) Materialbestimmung durch das Atomgewicht des Körpers

Formeln & Konstanten:

$$c \cdot A_g \approx 24,9 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Messergebnisse:

$$c_{\text{Probe}} = 0,391 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Rechnung:

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

$$391 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot A_g = 24,9 \frac{\text{J}}{\text{K}} \quad | : 391 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$A_g = 0,06368 \text{ kg}$$

$$\underline{A_g = 63,68 \text{ g}}$$

Das errechnete Atomgewicht lässt auf Kupfer, als Material des Körpers, schließen.

Wenn man Kupfer als Literaturwert nimmt (63,55g) hat man einen Fehler von 0,2%.

Fehlerrechnung:

$$A_{g,\text{min}} = \left(370 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)^{-1} \cdot 24,9 \frac{\text{J}}{\text{K}} = 0,06729 \text{ kg} = \underline{\underline{67,29 \text{ g}}} = A_{g,\text{min}}$$

$$A_{g,\text{max}} = \left(400 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)^{-1} \cdot 24,9 \frac{\text{J}}{\text{K}} = 0,06225 \text{ kg} = \underline{\underline{62,25 \text{ g}}} = A_{g,\text{max}}$$

Unter Berücksichtigung der Abweichungen kommen sowohl Kupfer, als auch Zink in Frage. Häufiger gebräuchlich ist auch die Legierung aus beiden Elementen, das Messing, welches nahe liegt auch in Frage zu kommen.

Physikalisches Praktikum  
Universität Hannover

20. Nov. 2009

S. J. J. J.