

Versuchsprotokolle

Versuch 203

Spezifische Wärmekapazität vom Metallen

Aufgaben

- Bestimmen der spezifischen Wärmekapazitäten diverser Metalle.
- Berechnen der molaren Wärmekapazitäten zur Bestätigung der Dulong- Petitschen Regel.

Vorbetrachtung

Wärme & Wärmemengen

Wärme ist eine nicht- mechanische Form der Energie, eng gekoppelt mit dem Aggregatzustand und der Temperatur eines Körpers, dabei kann diese Energie lediglich von oder in andere Formen umgewandelt werden, nicht verschwinden oder aus dem „Nichts“ hinzukommen. Also lässt sich der Energieerhaltungssatz aus der Mechanik ohne Einschränkungen auf die Wärmelehre ausdehnen.

Um einen Körper um eine gewisse Temperatur zu erwärmen, muss man diesem eine gewisse Wärmeenergiemenge ΔQ zuführen. Für einen Körper unbekannter Masse oder Zusammensetzung gilt:

$$\Delta Q = K \cdot \Delta \vartheta$$

Für reine Stoffe kann man experimentell oder rechnerisch (durch die Dulong- Petitsche Regel) eine stoffspezifische Wärmekapazität c ermitteln:

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta \vartheta$$

Anmerkung: c ist entgegen der Lehre der Schulphysik schwach Temperaturabhängig (siehe Tabelle: einige Wärmekapazitäten)

Eine besonders für die Chemie interessante Konstante stellt die molare Wärmekapazität dar, welche die Fähigkeit zur Wärmeaufnahme von einem Mol eines Stoffes darstellt.

$$C_{Mol} = c \cdot M$$

Wärmemessung mit dem Kalorimeter (Energiebilanz)

Mit der Formel

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta \vartheta$$

lassen sich also alle Wärmeevorgänge innerhalb eines (in Aufbau und Masse) bekannten Körpers unter Ausschluss eines Phasenüberganges beschreiben. Allerdings kann diese Formel nicht auf das Kalorimeter angewendet werden, da uns der exakte Aufbau nicht bekannt ist (und selbst wenn, wäre es zu kompliziert, sämtliche Wärmeleitvorgänge in dem Gefäß und mit der Umwelt zu betrachten). Deshalb greifen wir auf die universelle Wärmeleichung

$$\Delta Q = K \cdot \Delta \vartheta \text{ zurück.}$$

Mit dem Wissen, dass keine Energie „verschwinden“ kann, können wir als Energiebilanz aufstellen:

Wärmeabgabe:

zu untersuchender Körper:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{Ab} &= -m_K \cdot c_K \cdot \Delta \vartheta_{Ab} \\ &= m_K \cdot c_K \cdot (\vartheta_{Hei\beta} - \vartheta_{Misch}) \end{aligned}$$

Wärmeaufnahme:

Kalorimeter:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{Auf_K} &= K \cdot \Delta \vartheta_{Auf} \\ &= K \cdot (\vartheta_{Misch} - \vartheta_{Kalt}) \end{aligned}$$

Wasser im Kalorimeter:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{Auf_{H_2O}} &= m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta \vartheta_{Auf} \\ &= m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot (\vartheta_{Misch} - \vartheta_{Kalt}) \end{aligned}$$

Daraus folgt:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{Ab} &= \Delta Q_{Auf} \\ m_K \cdot c_K \cdot (\vartheta_{Hei\beta} - \vartheta_{Misch}) &= (K + m_{H_2O} \cdot c_{H_2O}) \cdot (\vartheta_{Misch} - \vartheta_{Kalt}) \\ c_K &= \frac{K + m_{H_2O} \cdot c_{H_2O}}{m_K} \cdot \frac{\vartheta_{Misch} - \vartheta_{Kalt}}{\vartheta_{Hei\beta} - \vartheta_{Misch}} \end{aligned}$$

Versuchsprotokolle

Die Dulong- Petitsche Regel

Nimmt ein Stoff der Masse m eine Wärmemenge auf, so kann diese nur in Form von kinetischer Energie seiner einzelnen Bestandteile, seinen es Moleküle, Ionen oder Atome, gespeichert werden, wobei es im Groben egal ist, ob die Bewegungen der Teilchen frei oder im Kristall- oder Atomverband schwingend ist. Bei genauere Betrachtung kommt man zum physikalischen Begriff des Freiheitsgrades der Teilchen, welcher auf die Fähigkeit eines Teilchens, Energie zu speichern, einen nicht unübersehbaren Einfluss hat.

Schauen wir uns das Ganze einmal näher an. Im Mittel hängt der Energiebetrag eines Teilchen vom Freiheitsgrad f , sowie von der absoluten Temperatur T in K ab.

$$\bar{E} = \frac{k}{2} \cdot f \cdot T$$

Interpretiert man die universelle Gaskonstante R auch für Festkörper als

$$R = k \cdot N_A, \text{ wobei } N_A \text{ die Avogadro- Konstante ist.}$$

und weiß man, dass für Metalle ein Freiheitsgrad von $f= 6$ gilt. Daraus folgt für die durchschnittliche Energieaufnahme eines metallischen Stoffes:

$$\Delta \bar{E}_{Mol} = 3 \cdot R \cdot \Delta T$$

$$\bar{Q}_{Mol} = 3 \cdot R \cdot \Delta v = c \cdot M \cdot \Delta v = C_{Mol} \cdot \Delta v$$

$$\underline{\underline{C_{Mol} = 3 \cdot R}}$$

einige Tabellenwerte

spezifische Wärmekapazität c in für ausgewählte Metalle:

Stoff	Aluminium	Kupfer	Blei	Antimon	Zink
T= 273 K	0,880	0,379	0,127	0,206	0,385
T= 373 K	0,937	0,379	0,131	0,212	0,402

spezifische Wärmekapazität destillierten Wassers bei unterschiedlichen Temperaturen:

T in °C:	0	10	20	30	40	50
+ 0 °C	4,2174	4,2174	4,1816	4,1728	4,1783	4,1804
+ 5 °C	4,2019	4,1855	4,1793	4,1779	7,1792	4,1821

Quellenangabe:

Kane & Laby: „Table of phy. And chem. Constants“

Durchführung

Versuchsobjekt:

Waage, Topf mit heißem, kochendem Wasser (θ_K), Kalorimeter mit kaltem, destillierten Wasser (θ_{Kalt}), metallischer Probekörper (θ_K) und eine wasserfeste Unterlage

mögliche systematische Fehler:

1. Es ist eine kontinuierliche Wärmeabgabe die umgebende Luft bzw. den Raum zu verzeichnen, selbst während des Mischungsprozesses und den Transport der Massen durch die Luft.
2. Mögliche Fehler in den Messinstrumenten (gerissene Quecksilbersäule des Thermometers, falsche bzw. übergangene Justierung)
3. Wärme wird nicht nur an Kalorimeter und Wasser (und Umgebung), sondern ebenso direkt an das Thermometer abgegeben, welches diese z.T. in Volumenarbeit umsetzt. D.h. die Messung wird systematisch nach unten verfälscht.
4. Durch das Herausnehmen wird die Wassermenge des Kalorimeters

Versuchsablauf:

- Bestimmung der Kalorimeterkonstante
- Bestimmung der Wärmekapazitäten der Metallprobekörper

Fehlerquellen:

$$\vartheta_{Hei\beta}, \vartheta_{Misch}, \vartheta_{Kalt}, m_{H_2O}, m_K, c_{H_2O}, K$$

Versuchsprotokolle

Messwerte

Körper	1	2	3	4	5
m_K [g]	75,3	210,4	63,9	200,3	218,2
ϑ_{Kalt} [°C]	21,0	21,6	27,7	30,9	35,6
ϑ_{Misch} [°C]	21,6	27,7	31,9	36,0	37,8

Auswertung

Konstanten

$$\vartheta_{Hei\beta} = f(p_L) = 99,96^\circ\text{C}$$

$$\Delta\vartheta = \pm 0,1^\circ\text{C}$$

$$m_{H_2O} = 179,8\text{g}$$

$$\Delta m = \pm 0,1\text{g}$$

$$c_{H_2O} = 4,18 \frac{\text{J}}{\text{gK}}$$

$$\Delta c_{H_2O} = \pm 0,02 \frac{\text{J}}{\text{gK}}$$

$$K = 127 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$\Delta K = \pm 25 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Körper	1	2	3	4	5
Stoff	Blei	Kupfer	Aluminium	Messing (70% Cu, 30% Zn)	techn. Blei (75% Pb, 25% Sb)
molare Masse M	207,2	63,55	26,98	64,09	185,84

Berechnung

$$c_K = \frac{K + m_{H_2O} \cdot c_{H_2O}}{m_K} \cdot \frac{\vartheta_{Misch} - \vartheta_{Kalt}}{\vartheta_{Hei\beta} - \vartheta_{Misch}}$$

$$C_{Mol} = c_K \cdot M_K$$

Körper	1	2	3	4	5
c_K [J/gK]	0,0896467	0,3538224	0,8518361	0,3512298	0,1431258
C_{mol} [J/molK]	18,574796	22,485414	22,982538	22,510318	26,598499

Fehlerabschätzung

$$\begin{aligned} \Delta c_K &= \left| \frac{\partial c_K}{\partial \vartheta_{Hei\beta}} \Delta \vartheta_{Hei\beta} \right| + \left| \frac{\partial c_K}{\partial \vartheta_{Misch}} \Delta \vartheta_{Misch} \right| + \left| \frac{\partial c_K}{\partial \vartheta_{Kalt}} \Delta \vartheta_{Kalt} \right| \\ &+ \left| \frac{\partial c_K}{\partial m_{H_2O}} \Delta m_{H_2O} \right| + \left| \frac{\partial c_K}{\partial m_K} \Delta m_K \right| + \left| \frac{\partial c_K}{\partial c_{H_2O}} \Delta c_{H_2O} \right| + \left| \frac{\partial c_K}{\partial K} \Delta K \right| \\ &= \Delta \vartheta \cdot \frac{K + m_{H_2O} \cdot c_{H_2O}}{m_K} \cdot \left(\frac{\vartheta_{Misch} - \vartheta_{Kalt}}{(\vartheta_{Hei\beta} - \vartheta_{Misch})^2} + \frac{\vartheta_{Hei\beta} - \vartheta_{Misch} + \vartheta_{Misch} - \vartheta_{Kalt}}{(\vartheta_{Hei\beta} - \vartheta_{Misch})^2} + \frac{1}{\vartheta_{Hei\beta} - \vartheta_{Misch}} \right) \\ &+ \Delta m \cdot \frac{\vartheta_{Misch} - \vartheta_{Kalt}}{\vartheta_{Hei\beta} - \vartheta_{Misch}} \cdot \left(\frac{c_{H_2O}}{m_K} + \frac{K + m_{H_2O} \cdot c_{H_2O}}{m_K^2} \right) \\ &+ \frac{\Delta K + \Delta c_{H_2O} \cdot m_{H_2O}}{m_K} \cdot \frac{\vartheta_{Misch} - \vartheta_{Kalt}}{\vartheta_{Hei\beta} - \vartheta_{Misch}} \end{aligned}$$

Versuchsprotokolle

$$= 2\Delta\vartheta \frac{K + m_{H_2O} \cdot c_{H_2O}}{m_K} \cdot \frac{\vartheta_{Hei\beta} - \vartheta_{Kalt}}{(\vartheta_{Hei\beta} - \vartheta_{Misch})^2}$$

$$+ \frac{\vartheta_{Misch} - \vartheta_{Kalt}}{\vartheta_{Hei\beta} - \vartheta_{Misch}} \cdot \left[\Delta m \left(\frac{K + (m_{H_2O} + m_K) \cdot c_{H_2O}}{m_K^2} \right) + \frac{\Delta K + \Delta c_{H_2O} \cdot m_{H_2O}}{m_K} \right]$$

$$\Delta C_{Mol} = \Delta c_K \cdot M_K$$

Körper	1	2	3	4	5
Δc_K [J/gK]	0,0331914	0,0244366	0,0725412	0,0266511	0,0182663
ΔC_{mol} [J/molK]	6,8772581	1,5529459	1,9571616	1,708069	3,3946092

Ergebnisse

Körper	1	2	3	4	5
c_K [J/gK]	0,089± 0,033	0,354± 0,024	0,852± 0,073	0,351± 0,027	0,143± 0,018
C_{mol} [J/molK]	18,57± 6,88	22,49± 1,55	22,98± 1,96	22,51± 1,71	26,60± 3,39

$$C_{mol} \approx 3 \cdot R = 24,94 \frac{J}{molK}$$

Diskussion

Der Versuch ist und war mit Fehlerquellen gespickt wie eine Weihnachtsgans. Wobei man allerdings die systematische Fehlerquelle Nummer 2 ausschließen kann, da während des Versuches durchgehend mit Differenzmessungen gearbeitet wurde. Zum systematischen Messfehler 4 muss gesagt werden, dass die Wassermengenmessung nach dem Versuch erfolgte, somit ist die Masse des Wassers kleiner gegenüber den zuvor verlaufenden Messungen, falls Wasser während des Versuches verloren ging.

Die Ergebnisse erfüllen die selbstgestellten Anforderungen und sind unter Beachtung der angeführten systematischen Messfehler 1, 3 und 4, welche die ermittelte Wärmekapazität gegenüber der tatsächlichen nach unten verfälschen, eine gute Bestätigung der Dulong- Petitsche Regel, trotz dass einige Werte den theoretischen Wert nicht innerhalb ihres Fehlerintervalls haben. Ergo: Trotz allen Widrigkeiten konnte die Näherung bestätigt werden.

Jena, 13.01.02