

Versuch 203

Spezifische Wärmekapazität von Metallen

1. Aufgaben

1.1 Bestimmen Sie die spezifischen Wärmekapazitäten verschiedener Metalle!

1.2. Berechnen Sie die molaren Wärmekapazitäten und vergleichen Sie diese mit der Dulong - Petitschen Regel!

2. Grundlagen

Stichworte:

Wärmemenge, Wärmekapazität, Kalorimeter, Energieerhaltungssatz, Dulong-Petitsche Regel

2.1 Spezifische und molare Wärmekapazität

Die Wärmemenge ΔQ , welche ein Körper beim Erwärmen aufnimmt, ist proportional zur Temperaturdifferenz $\Delta \vartheta$ und (falls er nur aus einem Material besteht) zu seiner Masse m .

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta \vartheta \quad (1)$$

Der Proportionalitätsfaktor c ist die **spezifische Wärmekapazität** $\left(\text{Einheit } \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right)$.

Sie ist eine Stoffkonstante und besitzt je nach Material sehr unterschiedliche Werte.

Multipliziert man c mit der Molmasse M , so erhält man die auf die Stoffmenge bezogene **molare Wärmekapazität** C_m

$$C_m = c \cdot M \quad (2)$$

Vergleicht man hier die Werte für verschiedene Stoffe, so läßt sich eine verblüffende Übereinstimmung feststellen: Für chemische Elemente im **festen Aggregatzustand** gilt die Dulong-Petitsche Regel:

$$C_m \approx 3 \cdot R \approx 25 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \quad (3)$$

Analog gilt z.B. für **einatomige Gase**:

$$C_{m,v} \approx \frac{3}{2} \cdot R \approx 12,5 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \quad (4)$$

$$\left(R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}, \text{ universelle Gaskonstante} \right)$$

Die Ursache für diese Übereinstimmung ist darin zu suchen, daß das Wärmespeichervermögen eines Körpers nicht von seiner Masse sondern von der Anzahl der in ihm enthaltenen Moleküle bestimmt wird. Jedes Molekül besitzt dabei im Mittel den Energiebetrag $1/2 \cdot f \cdot k \cdot T$ ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$, Boltzmann-Konstante), welcher außer von der Temperatur noch von der durch die Molekülstruktur bestimmten Zahl der Freiheitsgrade f abhängt (bei einatomigen Gasen ist $f = 3$, bei Metallen $f = 6$).

Für ein Mol ergibt sich wegen $R = k \cdot N_A$ ($N_A \approx 6 \cdot 10^{23} \text{mol}^{-1}$, Avogadro-Konstante) als mittlere Energie $1/2 \cdot f \cdot R \cdot T$, bei Festkörpern $3 R T$ (wegen $f = 6$) Entsprechend gilt für die Energieaufnahme bei Erwärmung: $\Delta E = 3 \cdot R \cdot \Delta T$ und für die Wärmekapazität: $C_m = 3 \cdot R$.

(Bei Gasen ist der Sachverhalt etwas komplizierter, da zwischen der Temperaturänderung bei konstanten Volumen (ohne zusätzliche mechanische Arbeit, Wärmekapazität $C_{m,v}$) und der bei konstantem Druck (mit Volumenarbeit, $C_{m,p}$) unterschieden werden muß).

2.2 Kalorimetrie

Die Wärmekapazität fester Körper kann mit einem sogenannten Mischungskalorimeter (vgl. Versuch 200) bestimmt werden. Dies ist ein (nach Möglichkeit gut wärmeisoliertes) Gefäß, in welchem sich eine Flüssigkeit mit bekannter spezifischer Wärmekapazität befindet $\left(\text{hier: Wasser mit } c = 4,18 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right)$. Wird ein erwärmter Probekörper ins Kalorimeter gebracht, so findet dort ein Temperatenausgleich statt. Die Energiebilanz lautet:

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 + \Delta Q_3 \quad \text{mit} \quad (5)$$

$$\begin{array}{ll} \Delta Q_1 = c_f m_f (\vartheta_f - \vartheta_m) & \text{vom Probekörper abgegebene Wärmemenge} \\ \Delta Q_2 = c_{fl} m_{fl} (\vartheta_m - \vartheta_{fl}) & \text{vom Wasser aufgenommene Wärmemenge} \\ \Delta Q_3 = K (\vartheta_m - \vartheta_{fl}) & \text{vom Kalorimeter aufgenommene Wärmemenge} \end{array}$$

Löst man die Gleichung nach c_f auf, so ergibt sich:

$$c_f = \frac{c_{fl} \cdot m_{fl} + K}{m_f} \cdot \frac{\vartheta_m - \vartheta_{fl}}{\vartheta_f - \vartheta_m} \quad (6)$$

Zu messen sind die Massen m_{fl} bzw. m_f sowie die Temperaturen ϑ_{fl} bzw. ϑ_f von Flüssigkeit und festem Körper vor dem Temperatenausgleich sowie die Mischungstemperatur ϑ_m . Gegeben sind c_{fl} und K .

3. Versuchsdurchführung

- 3.1 Die Wärmekapazität des vorhandenen Kalorimeters wird entweder vom Assistenten vorgegeben oder über die Energiebilanz beim Mischen von kaltem und warmem Wasser (Vgl. Versuch 200, Abschnitt 2.4) selbst bestimmt.
- 3.2 Das Kalorimeter wird im trockenen Zustand gewogen und dann bis etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt (bereits temperiertes destilliertes Wasser vom Arbeitsplatz verwenden). Die Bestimmung der Wassermasse erfolgt als Differenzmessung. Die Metallproben werden gewogen und danach in siedendem Wasser erhitzt. Der Wert der Siedetemperatur ist luftdruckabhängig und kann aus Tabellen entnommen werden.

Unmittelbar vor dem Hineinbringen des Metallkörpers mißt man die Temperatur des Wassers im Kalorimeter und ebenso über einen Zeitraum von 2-3 min während des Temperatenausgleichs. Im allgemeinen steigt die Temperatur relativ schnell bis zur Mischungstemperatur an, um danach aufgrund der Wärmeabgabe an den umgebenden Raum langsam wieder abzufallen. Der (nach ca. 1 min erreichte) Maximalwert ist die Mischungstemperatur ϑ_m .

Bemerkung:

Aufgrund der geringen Temperaturdifferenz zwischen dem erwärmten Wasser im Kalorimeter und der Umgebung ist die Aufnahme eines Temperatur-Zeit-Diagramms hier im Gegensatz zu Versuch 200 nicht nötig.

- 3.3 Die Berechnung der spezifischen Wärmekapazitäten geschieht nach Gl.6. Die molaren Wärmekapazitäten ergeben sich daraus über Gl. 2. Für eine Probe ist der absolute Größtfehler von c_f durch partielle Ableitung der Formel nach allen fehlerbehafteten Größen zu ermitteln. Es ist weiterhin der relative Fehler anzugeben und eine Aussage darüber zu treffen, welchen prozentualen Anteil die einzelnen Meßgrößen am Gesamtfehler haben. Unter der Voraussetzung, daß der relative Fehler bei den übrigen Messungen nicht deutlich abweicht (Überprüfen!), kann der für die erste Probe ermittelte Wert auch für alle anderen Proben sowie für die molaren Wärmekapazitäten verwendet werden. Vergleichen Sie die c - Werte mit den Angaben aus Tabellen. Vergleichen Sie die C_m -Werte mit den Erwartungen nach der Dulong-Petitschen Regel.