

Spezifische Wärmekapazität von Festkörpern

Die spezifische Wärmekapazität von Stoffen beschreibt die benötigte thermische Energie um 1 kg dieses Stoffes um 1 K zu erwärmen. Bei Festkörpern wird die Wärme in elastischen Schwingungen der Atome/Moleküle um ihre Gleichgewichtslage gespeichert. Diese Schwingungen werden Phononen genannt. Die Kalorimetrie ist ein wichtiges Mittel um Phasenübergänge von Stoffen zu bestimmen, z.B. die Schmelztemperatur. Die moderne Variante als *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) ist ein weit verbreitetes Verfahren zur Untersuchung der Reinheit von chemischen Proben, da sich durch Verunreinigungen der Schmelzpunkt ändert.

1 Lernziele

- Mischtemperatur von Flüssigkeiten und Festkörpern in Flüssigkeiten
- spezifische Wärmekapazität c in $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- Wasser hat die größte spezifische Wärmekapazität aller Flüssigkeiten und Festkörper, es ist somit ein idealer Wärmespeicher
- die Umrechnung von kcal (Kalorien) in kJ (Joule) auf Lebensmitteln ist 4.19, siehe $c_{\text{H}_2\text{O}}$

2 Experimenteller Aufbau

- Kalorimeter
- Digitalthermometer mit der Genauigkeit 0.1 K
- Waage und Probenkörper aus Aluminium oder Kupfer
- Wasser und Wasserkocher
- Flüssiger Stickstoff
- mm-Papier für die Auswertung



3 | Messung - | Durchführung - | Auswertung

3.1 Messung: Mischtemperatur Wasser im Kalorimeters

- 1) Messen Sie die Leermasse m_0 des Kalorimeters mit Deckel und die Temperatur ϑ_k des kalten Wassers (*griechisch-theta*-wenn die Temperatur in $^{\circ}\text{C}$ angegeben wird).
- 2) Das Kalorimeter wird zu ca. 40% mit 90°C heißem Wasser befüllt und geschlossen. Die Masse wird erneut gemessen, um die Masse m_w des heißen Wassers zu bestimmen.
- 3) Protokollieren Sie alle 30 s über 5 Minuten die Temperatur des Wassers und mischen Sie dann zügig kaltes Wasser hinzu, so dass ein Füllstand von ca. 80% erreicht wird - **die Zeitmessung und Protokollierung alle 30 s wird nicht angehalten.**
- 4) Protokollieren Sie für weitere 4 Minuten die Temperatur des Wassers.
- 5) Messen Sie die Masse des Kalorimeters mit dem Wasser um die Masse m_k des zugegebenen kalten Wassers zu bestimmen.
- 6) Leeren Sie das Kalorimeter, es muss trocknen.

3.2 Auswertung: Berechnung der Mischtemperatur

- a) Tragen Sie Ihre gemessenen Temperaturen als Funktion der Zeit in ein Diagramm ein.
- b) Lesen Sie die Temperatur des warmen Wassers ϑ_w zum Zeitpunkt der Zugabe des kalten Wassers aus Ihrem Diagramm ab und ebenfalls die Mischtemperatur ϑ_m . Die Temperatur des kalten Wassers ϑ_k ist die Raumtemperatur.
- c) Wir wollen die Mischtemperatur auch berechnen und mit dem Messwert vergleichen. Dazu benötigen wir die Wassermassen und den Temperaturen vom kalten und warmen Wasser. Da beides Wasser ist, ist die Formel sehr einfach:

$$\vartheta_m = \frac{m_w \cdot \vartheta_w + m_k \cdot \vartheta_k}{m_w + m_k} \quad (1)$$

- d) Vergleichen Sie Ihre berechnete Temperatur mit der gemessenen Mischtemperatur.

Es folgen ein paar Showexperimente mit flüssigen Stickstoff

3.3 Messung zur Bestimmung der Wärmekapazität von Kupfer-Cu oder Aluminium-Al

Wir wollen bestimmen, wie viel Wärme notwendig ist, um ein kg Cu/Al um 1 K zu erwärmen. Temperaturdifferenzen werden in K-Kelvin angegeben. Wir wissen, dass für die Erwärmung von 1 kg um 1 K genau 4190 J benötigt werden, $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4190 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$. Dies ist sehr viel im Vergleich zu anderen Stoffen.

- 1) Trocknen Sie das Kalorimeter und bestimmen Sie die Leermasse m_0 .
- 2) Füllen Sie es zu 80% mit Leitungswasser und bestimmen Sie die Masse des Wassers, $m_{\text{H}_2\text{O}}$.
- 3) Messen Sie die Masse $m_{\text{Cu/Al}}$ Ihres Probenkörpers aus Cu oder Al. Angabe in kg.
- 4) **Abkühlung des Körpers mit fl. Stickstoff - !!! Achtung !!! Nach der Abkühlung dürfen Sie den Körper auf keinen Fall mit den Händen berühren.** Das Wasser Ihrer Haut würde sofort gefrieren und Sie kleben fest. Dies führt zu Erfrierungen.
- 5) Während Ihr Probenkörper abkühlt protokollieren Sie alle 30 s über 5 Minuten die Temperatur des Wassers. Bringen Sie dann **unter Aufsicht** mit dem Hacken den Probenkörper in Ihr Kalorimeter und verschließen es wieder - **die Zeitmessung und Protokollierung alle 30 s wird nicht angehalten.**
- 6) Protokollieren Sie für weitere 4 Minuten die Temperatur des Wassers. Mit dem Rührer können Sie das Wasser besser mischen.

3.4 Auswertung: Berechnung der Wärmekapazität von Cu/Al

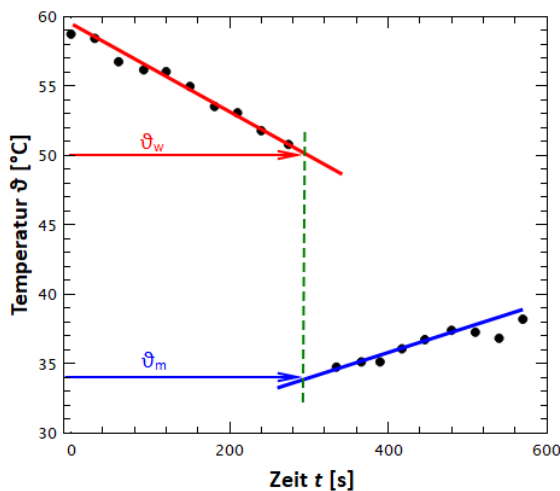
- a) Tragen Sie Ihre gemessenen Temperaturen als Funktion der Zeit in ein Diagramm ein.
- b) Lesen Sie die Temperatur des Wassers $\vartheta_{\text{H}_2\text{O}}$ zum Zeitpunkt der Zugabe des Probenkörpers aus Ihrem Diagramm ab und ebenfalls die Mischtemperatur ϑ_m . Die Temperatur des Probenkörpers ist nach der Abkühlung in fl. N_2 $\vartheta_p = -196^\circ\text{C}$.
- c) Der Körper nimmt Wärme von Wasser auf und hat am Ende die selbe Temperatur wie das dann etwas abgekühlte Wasser. Die Formel zur Berechnung der Wärmekapazität ist:

$$c_{\text{Cu/Al}} = c_{\text{H}_2\text{O}} \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (\vartheta_w - \vartheta_m)}{m_{\text{Cu/Al}} \cdot (\vartheta_m - \vartheta_p)} \quad (2)$$

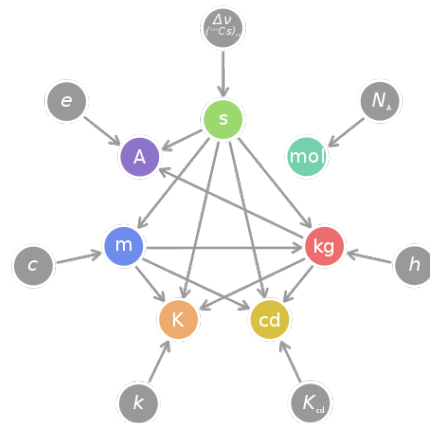
- d) Vergleichen Sie Ihre Berechnung mit den Tabellenwerten $c_{\text{Cu}} = 383 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ und $c_{\text{Al}} = 888 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$. Zum Vergleich Wasser $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4190 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

4 Zusatzmaterial

- Das SI-Einheitensystem wurde 2019 umgestellt und unter anderem das Ur-Kilogramm in Paris zur Definition abgeschafft. Seit 2019 werden die fundamentalen Basiseinheiten das Meter, die Sekunde, das Kilogramm, das Kelvin usw. über sieben Naturkonstanten definiert. Siehe auch den Wikipedia Artikel https://de.wikipedia.org/wiki/Internationales_Einheitensystem#Seit_2019:_Definition_%C3%BCber_physikalische_Konstanten und die unten stehende Abbildung.



Extrapolation zur Bestimmung der Temperatur des warmen Wassers ϑ_w und der Mischtemperatur ϑ_m , übertrieben dargestellt.



Die bisherigen SI-basisgrößen und die Neudefinitionen seit 2019. Das Urkilogramm in Paris wurde abgeschafft.