

Spezifische Wärmekapazität fester Körper

1 Vorausgesetzte Kenntnisse

1. Definition der spezifischen Wärmekapazität, Spezifische Wärmekapazitäten fester und gasförmiger Körper
2. Prinzip der Gleichverteilung der Energie
3. *Dulong-Petit'sche* Regel
4. Kalorimetrie; Flächenabgleich (siehe Zusatz-Anleitung W0)
5. Die in Abschnitt 6 gestellten Hausaufgaben

2 Mitzubringende Hilfsmittel

Bringen Sie folgende Materialien mit:

- (mindestens) 2 Blatt Millimeterpapier

3 Literatur

- Walcher: *Praktikum der Physik*
- Gerthsen: *Gerthsen Physik*
- Westphal: *Physik*
- Bergmann, Schaefer: *Lehrbuch der Experimentalphysik* Bd. 1: *Mechanik, Akustik, Wärme*

4 Grundlagen

Um einen Körper um eine Temperaturdifferenz ΔT zu erwärmen, muss man ihm eine Wärmemenge ΔQ zuführen. Die Wärmekapazität C dieses Körpers ist festgelegt durch den Zusammenhang

$$\Delta Q = C \cdot \Delta T \quad (1)$$

und hat die Maßeinheit $[C] = \text{J/K}$. Oft ist weniger die Wärmekapazität eines konkreten Körpers von Interesse, sondern vielmehr die Kenngröße „spezifische Wärmekapazität c “ des Materials, aus dem der Körper besteht. Man erhält sie, indem man die Wärmekapazität des Körpers durch seine Materialmenge dividiert, beispielsweise durch seine Masse m , und hat

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T. \quad (2)$$

Der Proportionalitätsfaktor c heißt *spezifische* (auf die Masseneinheit bezogene) Wärmekapazität, erkennbar an der Maßeinheit: $[c] = \text{J}/(\text{g K})$.

Es ist ebenfalls sinnvoll, als Materialmenge die Stoffmenge ν (Zahl der Mole) zu wählen. Das ergibt die molare (auf ein Mol bezogene) Wärmekapazität C mit der Einheit $[C] = \text{J}/(\text{mol K})$:

$$\Delta Q = C \cdot \nu \cdot \Delta T \quad . \quad (3)$$

Achtung: Der in der Maßeinheit enthaltene Hinweis „pro Gramm“ bzw. „pro Mol“ hilft bei der Unterscheidung dieser verschiedenen Wärmekapazitäten – das verwendete Symbol C ist in der Literatur sehr uneinheitlich, ebenso dessen Groß/Kleinschreibung. Schon in dieser Anleitung wird C mit zwei verschiedenen Bedeutungen verwendet, und die Wärmekapazität des Kalorimeters mit K bezeichnet.

4.1 Dulong-Petit'sche Regel

Für viele feste Körper wurde die Gültigkeit der *Dulong-Petit'schen* Regel bei nicht zu tiefen Temperaturen experimentell bestätigt. Diese Regel besagt, dass die molare Wärmekapazität einen universellen Wert aufweist, nämlich $C = 3R$ (molare Gaskonstante $R = 8.314 \text{ J}/(\text{mol K})$). Für Isolatoren lässt sich dies aus dem Gleichverteilungssatz herleiten:

Im festen Körper schwingen die Atome im Kristallgitter um eine feste Gleichgewichtslage. Bei jeder elastischen Schwingung ist neben kinetischer auch potentielle Energie vorhanden, deren Mittelwert gleich dem der kinetischen Energie ist. Dem einzelnen Atom sind daher $2 \cdot 3$ thermodynamische Freiheitsgrade zuzuordnen ($f = 6$). Jeder Freiheitsgrad besitzt im Mittel die Energie $\frac{1}{2} kT$. Die innere Energie pro Mol beträgt also $U = 3RT$, eine Erwärmung um ΔT erfordert die Energiezufuhr $\Delta Q = 3R \cdot \Delta T$ bei konstantem Volumen, vgl. 1. Hauptsatz der Thermodynamik. Damit ist $C_V = 3R$, unabhängig von den beteiligten Atomen oder Molekülen des Feststoffes.

Für Metalle ergibt das Aufzählen der Freiheitsgrade allerdings falsche Werte (nämlich zu große im Vergleich mit dem Experiment), was erst mit der Quantentheorie richtiggestellt werden kann.

5 Messmethode

Zur Messung von c benutzen wir die Mischungsmethode. Sie beruht auf der Tatsache, dass die von einem heißen Körper abgegebene Wärmemenge Q_1 gleich der von der umgebenden Flüssigkeit aufgenommenen Wärme Q_2 ist. Außer den Massen der beteiligten Körper sind also nur Wassertemperaturen zu messen zwecks Bestimmung von Anfangs- und Mischungstemperatur. (Die sog. Kalorimeterkonstante K , das ist die Wärmekapazität der vom Wasser benetzten Bereiche von Dewar-Gefäß, Thermometer und Rührstab, ist bei dem Versuch angegeben). Es vergeht eine gewisse Zeit, bis der vom Temperaturunterschied angetriebene Wärmeübertritt zwischen Körper und Wasser abgeklungen ist. In dieser Zeit findet auch mit der Umgebung immer ein Wärmeaustausch statt. Die Auswirkungen dieser störenden Begleiterscheinung werden durch das besondere Messverfahren erfasst und auf graphischem Wege mittels Flächenabgleich (siehe Zusatzanleitung W0) eliminiert.

6 Hausaufgaben

Vor dem Praktikumstermin zu Hause zu erledigen:

1. **Für Studierende Bau-/Umweltingenieurwesen, Angew. Geowissenschaften:** Diskutieren Sie, wo die spezifische Wärmekapazität als physikalische Größe im Kontext Ihres Studienfaches relevant ist bzw. Anwendung findet.
2. **Für Physik Studierende:** Welcher Unterschied in der molaren spezifischen Wärmekapazität sollte sich nach dem Gleichverteilungssatz für einen metallischen Körper (Leitungselektronen!) gegenüber einem Isolator ergeben? (z. B. Gerthsen, Hunklinger, etc....)
3. Siehe Präsenzaufgabe 1.

7 Präsenzaufgaben

1. Man bestimme c für Eisen und Aluminium.

Ein Körper aus dem jeweiligen Material wird gewogen und anschließend in kochendem Wasser auf $100\text{ }^\circ\text{C}$ erwärmt. Im Kalorimeter befindet sich eine (durch Wägung vor und nach Einfüllen) bekannte Menge Wasser (wahlweise $\approx 400\text{ g}$ oder $\approx 800\text{ g}$, sprechen Sie mit Ihre(m/r) „Assi“).

Ähnlich wie in W0 beschrieben, messen Sie die Temperatur der Wasserfüllung als Funktion der Zeit. Phase I: Beobachtung der Anfangstemperatur über 5 Minuten unter gelegentlichem Umrühren, alle 60 Sekunden ein Wertepaar. In Phase II steigt die Wassertemperatur nach Einbringen des Körpers in das Kalorimeter zunächst schnell an: Lesen Sie deshalb nun besonders häufig ab, bevor Sie in den 20-Sekunden-Rhythmus übergehen, der bis zum Ende der Phase III beibehalten wird. Um die Temperatur von Kalorimeter, Wasser und Thermometer einheitlich zu halten, müssen Sie das Wasser fortwährend durchmischen (rühren!)...

Durch Gleichsetzen der von dem heißen Körper abgegebenen Wärmemenge Q_1 mit der von Wasser und Kalorimeter aufgenommenen Wärme Q_2 erhält man die Beziehung, aus der sich c berechnen lässt – **Hausaufgabe zur Vorbereitung!**

$c_{\text{Wasser}} = 4.19\text{ J}/(\text{g K})$; als Kalorimeterkonstante verwende man, sofern nicht anders angegeben, $K = (240 \pm 30)\text{ J/K}$. Ansonsten ist die Kalorimeterkonstante K am jeweiligen Behälter vermerkt.

Mit den beim Versuch angegebenen Molmassen ist dann sowohl die spezifische als auch die molare Wärmekapazität auszurechnen. Man prüfe dabei, ob das *Dulong-Petit'sche* Gesetz erfüllt ist und diskutiere dies schriftlich.

2. Aufstellung realistischer Messunsicherheiten, ggf. mit Erläuterung/Begründung. Wie „genau“ ist demnach das Versuchsergebnis?
3. **Für Physik Studierende:** Bewerten Sie Ihre Ergebnisse und deren experimentelle Genauigkeit in Hinblick auf Hausaufgabe 2