

Thema 12: Spezifische Wärmekapazität, Verdampfungsenthalpie



Abbildung 12.1: Der Versuchsaufbau in der Übersicht (von links nach rechts):
 hintere Reihe: Netzgerät und Amperemeter, Verdampfungskolben, Gefäß mit Tauchsieder, Kalorimeter
 vordere Reihe: Stoppuhr, Metallproben, Greifwerkzeuge

1 Grundlagen

1.1 Spezifische Wärmekapazität

Zur Erhöhung der Temperatur T eines Körpers um ΔT muss diesem eine Wärmemenge ΔQ zugeführt werden. Für hinreichend hohe Temperaturen (T oberhalb ≈ 250 K und Aggregatzustand unverändert, d.h. kein Phasenübergang) sind ΔQ und ΔT zueinander proportional. Es gilt dann

$$\Delta Q = \Gamma \cdot \Delta T \quad (12.1)$$

Γ ¹ heißt Wärmekapazität des Körpers. Sie ist eine für diesen Körper charakteristische Konstante. Für homogene Körper gilt

$$\Gamma = m \cdot c, \quad (12.2)$$

wobei c die auf die Masseneinheit des Körpers bezogene spezifische Wärmekapazität der Substanz und m die Masse des Körpers ist.

Die spezifische Wärmekapazität c ist eine Stoffeigenschaft. Sie gibt an, wie viel Wärmeenergie benötigt wird, um 1 kg des Stoffes um 1 K zu erwärmen.

Die Einheit der **spezifischen Wärmekapazität** ist $[c] = \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

Die Erfahrung zeigt, dass die spezifische Wärme eine Körpereigenschaft ist, die primär nicht an die Eigenschaft „Masse“, sondern an die Eigenschaft „Teilchenzahl“ des Körpers gekoppelt ist (siehe innere Energie des idealen Gases, Dulong-Petit-Regel, etc.).

1 Mol ist die Stoffmenge eines Systems chemisch einheitlicher Zusammensetzung, die aus ebenso vielen Teilchen besteht, wie Atome in 12 g des Nuklids ^{12}C enthalten sind.

Die Teilchenzahl der Stoffmenge $\nu = 1$ Mol wird Avogadro-Konstante N_A genannt. Sie hat den Wert $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ Teilchen/Mol. Es ist daher sinnvoll, die Wärmekapazität Γ auf die Stoffmengeneinheit 1 Mol zu beziehen. Die Stoffeigenschaft molare Wärmekapazität c_M beschreibt, wie viel Wärmeenergie zur Erwärmung der Stoffmenge 1 Mol dieser Substanz um 1 K notwendig ist.

Die Einheit der molaren Wärmekapazität ist $[c_M] = \frac{\text{J}}{\text{Mol} \cdot \text{K}}$. Für ν Mole eines Stoffes ist dann die Wärmekapazität gegeben als

$$\Gamma = \nu \cdot c_M \quad (12.3)$$

Empirische Regel von Dulong-Petit: Alle kristallinen Stoffe haben bei hinreichend hoher Temperatur die molare Wärmekapazität $c_M \approx 25 \frac{\text{J}}{\text{Mol} \cdot \text{K}}$ (z.B. Metalle bei $T > \approx 250$ K).

¹ Γ = (griech.:) großes Gamma

1.2 Spezifische Verdampfungsenthalpie

Die spezifische Verdampfungsenthalpie λ eines Stoffes ist die Wärmemenge, die zur Überführung von 1kg dieses Stoffes vom flüssigen in den gasförmigen Zustand nötig ist. Sie wird auch als latente („verborgene“) Wärme bezeichnet, da diese Änderung des Aggregatzustands des Stoffes ohne Temperaturänderung geschieht. Zur Verdampfungsenthalpie λ gehört neben der eigentlichen Verdampfungsenergie, die zur Überwindung der Kohäsionskräfte zwischen den Molekülen der Flüssigkeit aufgebracht werden muss, auch die Volumenexpansionsarbeit $p \cdot \Delta V$, die beim Verdampfen gegen den äußeren Gasdruck p geleistet werden muss. Die Volumenexpansionsarbeit $p \cdot \Delta V$ trägt zu λ bei, weil der Dampf eine geringere Dichte als die Flüssigkeit hat, also bei gleichem Druck ein größeres Volumen einnimmt².

Es gilt demnach

$$\text{Verdampfungsenthalpie} = m \cdot \lambda = \text{Verdampfungsenergie} + p \cdot \Delta V \quad (12.4)$$

Die Verdampfungsenthalpie hat die Einheit $[\lambda] = \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

2 Aufgabenstellung, Versuchsdurchführung

2.1 Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität von Al, Fe, Cu und Pb

Die Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität c eines Stoffes erfolgt über die Messung der Mischungstemperatur im Wärmekontakt mit einer Substanz bekannter Wärmekapazität - hier: Wasser (spezif. Wärmekapazität $c_W = 4,18 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$)

Ein Kalorimetergefäß wird mit Wasser der Masse m_2 und der Temperatur T_2 gefüllt.

Der auf die Temperatur T_1 erhitzte Probekörper der Masse m_1 wird in das Wasser gebracht. Nach Temperatúrausgleich (mit Rührer gut umrühren!!) haben Wasser und Probekörper gleiche Temperatur, nämlich die Mischtemperatur T_m . Die Wärmemenge

$$\Delta Q_1 = m_1 \cdot c \cdot (T_1 - T_m) \quad (12.5)$$

ist dabei vom Probekörper auf das Wasser im Kalorimeter übergegangen. Das Kalorimetergefäß (Wärmekapazität c_k ist auf den Gefäßen angegeben) und das Wasser darin nehmen die Wärmemenge

$$\Delta Q_2 = (m_2 \cdot c_w + c_k) \cdot (T_m - T_2) \text{ auf.} \quad (12.6)$$

Nach dem Energieerhaltungssatz gilt

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2. \quad (12.7)$$

Gln. (12.5) bis (12.7) ergeben eine Bestimmungsgleichung für die gesuchte spezifische Wärmekapazität c des Probekörpers.

Die 4 Probekörper aus Al, Fe, Cu und Pb werden sorgfältig gewogen und dann für ungefähr 10 Minuten in ein Gefäß mit siedendem Wasser gehängt. Sie dürfen dabei nicht den Gefäßboden berühren, da dieser heißer als 100°C sein kann! Das Kalorimetergefäß wird mit $m_2 = 350$ g destilliertem Wasser gefüllt (auswiegen!). Ein Magnetrührstäbchen wird dazugegeben und das Thermometer so angebracht, dass seine Spitze in das Wasser taucht. Unmittelbar vor dem Einbringen des Probekörpers wird die Temperatur T_2 abgelesen. Dann holt man vorsichtig aber schnell den Probekörper aus dem Wasserbad, lässt ihn ganz kurz abtropfen, hängt ihn an den Haken am Kalorimeterdeckel und lässt ihn ins Kalorimeter eintauchen.

²Bei Wasser von 100 C und 10^5 Pa (1bar) Dampfdruck hat die Volumenexpansionsarbeit $p \cdot \Delta V$ weniger als 10% Anteil an der Verdampfungsenthalpie!

Sobald bei laufendem Rührer die abgelesene Temperatur nicht mehr steigt, wird die Mischungstemperatur T_m abgelesen.

Berechnen Sie nach diesen Messungen die spezifischen und molaren Wärmekapazitäten. Die für letztere benötigten relativen Atommassen m_A sind³ :

Al: $m_A = 26,98$; Fe: $m_A = 55,85$; Cu: $m_A = 63,54$; Pb: $m_A = 207,21$.

2.2 Bestimmung der spezifischen Verdampfungsenthalpie von Wasser

Die spezifische Verdampfungsenthalpie wird mit einer Apparatur bestimmt, die aus einem elektrisch beheizbaren Verdampfungsgefäß und einem wassergekühlten Gegenstromkühler zur Gewinnung des Kondensats besteht. Die Heizleistung wird an einem Regeltrafo auf den gewünschten Wert eingestellt. Dazu werden Heizspannung U und Heizstrom I gemessen. Das Wasser im Verdampfer wird zum Sieden gebracht und der entstehende Wasserdampf im Kühler kondensiert. Die Masse m des in einem Gefäß hinter dem Kühler aufgefangenen Kondensats wird durch Auswiegen bestimmt. Durch den oberen Hahn wird das Verdampfergefäß bis zur markierten Oberkante mit destilliertem Wasser gefüllt. Nach Anstellen des Kühlwassers maximal 200W Heizleistung einstellen. Das Wasser erwärmt sich und kommt nach einiger Zeit zum Sieden.

Die Apparatur benötigt dann noch 20 Minuten, um ihr thermisches Gleichgewicht zu erreichen. Erst danach sind brauchbare Messergebnisse möglich. Während dieser Zeit wird das Kondensat in einem beliebigen Gefäß aufgefangen. Von Zeit zu Zeit ist der Wasserstand im Verdampfer wieder bis zur Marke aufzufüllen. Er darf keinesfalls so tief sinken, dass die Heizwendel nicht mehr bedeckt ist!

Sobald die Apparatur ihr thermisches Gleichgewicht erreicht hat, wird ein vorher ausgewogenes Gefäß unter den Ausfluss des Kühlers gestellt, die Stoppuhr gestartet und während eines Zeitraums von 15 Minuten (Δt) das Kondensat in diesem Gefäß aufgefangen. Anschließend wird das Gefäß mit dem Kondensat gewogen. Stromstärke I und Spannung U der Heizung sind während dieser Zeit regelmäßig zu kontrollieren (ggf. nachzuregulieren) und zu notieren.

Sei m_1 die Masse des Kondensats, λ die spezifische Verdampfungsenthalpie und h die an die Umgebung abgegebene Wärmeenergie, so gilt die Energiebilanz

$$W_1 = I_1 \cdot U_1 \cdot \Delta t = m_1 \cdot \lambda + h. \quad (12.8)$$

Um die unbekanntenen Verluste h aus dieser Bilanz eliminieren zu können, wird bei anderer Heizleistung, z.B. $I_2 \cdot U_2 = 100\text{W}$, und gleicher Auffangzeit Δt des Kondensats eine zweite Messung durchgeführt. Wiederum nach Auffüllen des Wassers 10 bis 15 Minuten sieden lassen zur Herstellung des thermischen Gleichgewichts.

Die Energiebilanz ist

$$W_2 = I_2 \cdot U_2 \cdot \Delta t = m_2 \cdot \lambda + h \quad (12.9)$$

Aus (12.8) und (12.9) lässt sich nun h eliminieren und damit λ bestimmen.

3 Praxisbezug

Wärmeregulierung und Temperatenausgleichprozesse in lebenden Organismen bzw. in der Biosphäre allgemein, Wetter, Klima ...

4 Stichworte zur Vorbereitung

Spezifische und molare Wärmekapazität, Wärmekapazität eines Körpers, Mol, Phasenübergänge (Umwandlung von Aggregatzuständen), Enthalpie (latente Wärme, Umwandlungsenergie), Kalorimetrie,

³Siehe Periodensystem der Elemente

Dulong-Petit-Regel, ideale und reale Gase, Zustandsgleichungen und Zustandsdiagramme (Phasendiagramme), kritische Temperatur, Tripelpunkt, innere Energie, spezifische Wärmekapazitäten von Gasen, Energieerhaltungssatz, thermodynamischer Gleichverteilungssatz der Energie.