

# W03 Spezifische und latente Wärmen

P. Rabe, H. Bender, Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven,  
Fachbereich Technik, Abteilung Photonik

Doc. 11. September 2002

## 1.1 Einführung

### 1.1.1 Ziel des Versuchs

In diesem Versuch wird ein Mischungskalorimeter zur Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität verschiedener Metalle und der Bestimmung der Schmelzwärme von Eis verwendet. Voraussetzung zur korrekten Messung ist die Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeters. Die Regel von Dulong-Petit wird nachgewiesen.

## 1.2 Theorie

### 1.2.1 Zusammenhang zwischen Temperatur und Wärme

Atome und Moleküle in Stoffen führen ungeordnete Bewegungen aus. In Festkörpern kommt es zu Schwingungen der Teilchen um ihre Ruhelage. Die Temperatur einer Stoffmenge ist proportional zur mittleren kinetischen Energie dieser ungeordneten Teilchenbewegung. Mit einer Temperaturänderung verbunden ist eine Änderung der inneren kinetischen Energie. Die Differenz der Energien zwischen der Anfangs- und Endtemperatur muss als Wärmemenge  $\Delta Q$  zu- oder abgeführt werden. Bei einer Phasenumwandlung wird eine Wärmemenge  $\Delta Q$  zu- oder abgeführt, ohne dass sich die Temperatur ändert.

### 1.2.2 Thermodynamisches Gleichgewicht

Ein Körper befindet sich im thermodynamischen Gleichgewicht, wenn sich zeitlich nichts an ihm ändert; d.h. wenn die Zustandsgrößen konstant sind. Kommt es zwischen zwei Körpern mit unterschiedlicher Temperatur zum Temperaturengleich, so dass die mittlere kinetische Energie der Moleküle in jedem Bereich gleich ist, so befindet er sich im thermodynamischen Gleichgewicht. Für diesen Temperaturengleich benötigt das System Zeit. Ist das System nicht isoliert, so kann es mit der Umgebung Energie austauschen, was zu einer Änderung der kinetischen Energie führt. Bleibt die Temperatur dabei konstant, nennt man diesen Vorgang isotherm.

### 1.2.3 Messung von Temperaturen

Zur Messung von Temperaturen verwendet man Thermometer. Prinzipiell kann man zur Temperaturmessung jede physikalische Größe heranziehen, die sich mit der Temperatur ändert (z.B.: die Wärmeausdehnung eines Festkörpers, die Widerstandsänderung eines Halbleiters etc.). Bei der Kalibrierung eines Thermometers ist es notwendig einen Fixpunkt und die genaue Änderung der wärmespezifischen Größen zu kennen. In der Praxis (auch hier) wird oft ein Quecksilber- oder Alkoholthermometer verwendet, bei dem das Prinzip der Wärmeausdehnung benutzt wird. Thermoelemente nutzen zur Temperaturmessung die Thermokraft eines Metallpaares. Zur berührungslosen Temperaturmessung werden Strahlungspyrometer verwandt.

### 1.2.4 Spezifische- und molare Wärmekapazität

Die Wärmekapazität ist definiert als Quotient aus Wärmemenge und zugehöriger Temperaturänderung.

$$c = \frac{dQ}{dT} \quad (1.1)$$

Je nachdem, ob man sie auf die Stoffmasse oder -menge bezieht, werden die spezifische  $c_{spez}$  und molare  $c_{mol}$  unterschieden:

$$c_{spez} = \frac{c}{m} = \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ}{dT} \left[ \frac{J}{gK} \right] \quad ; \quad c_{mol} = \frac{c}{\nu} = \frac{1}{\nu} \cdot \frac{dQ}{dT} \left[ \frac{J}{molK} \right] \quad (1.2)$$

mit  $\nu$ : Stoffmenge in [mol] des Körpers,  $m$ : Masse des Körpers. Für den Zusammenhang zwischen spezifischer und molarer Wärmekapazität gilt:

$$c_{spez} = \frac{c_{mol}}{M_{mol}} \quad (1.3)$$

mit  $M_{mol}$  molare Atommasse.

### 1.2.5 Regel von Dulong-Petit

Betrachtet man die Wärmekapazität eines festen Elementkristalls bei nicht zu niedrigen Temperaturen (Zimmertemperatur oder darüber), so ist jedes Atom an einem Platz im Kristallgitter gebunden. Da es in allen drei Raumrichtungen Schwingungen ausführen kann, ist sein Beitrag zur kinetischen Energie:

$$U_{kin} = \frac{3}{2}kT \quad (1.4)$$

hinzu kommen die gleichen Anteile an mittlerer potentieller Energie, so dass sich

$$U_i = \frac{6}{2}kT \quad (1.5)$$

für die mittlere innere Energie ergibt. Die innere Energie pro Mol ist demnach:

$$U_{i,mol} = 3N_AkT \quad (1.6)$$

Mit  $N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  (Avogadrozahl). Differenziert man diese Gleichung nach T, so erhält man die molare Wärmekapazität  $c_m$ :

$$c_m = 3N_Ak = 3R = 24.9 \left[ \frac{J}{molK} \right] \quad (1.7)$$

mit  $R$  universelle Gaskonstante,  $k$  Boltzmann-Konstante,  $T$  absolute Temperatur. Die molare Wärmekapazität ist unabhängig von der relativen Atommasse. Bei hohen Temperaturen ist die molare Wärmekapazität fester Körper unabhängig vom Stoff mit dem Wert  $c_m = 3R$  (Regel von Dulong-Petit)

### 1.2.6 Latente Wärme

Beim Schmelzen fester Körper und beim Verdampfen von Flüssigkeiten wird einem Stoff Wärmeenergie zugeführt, ohne dass sich seine Temperatur dabei ändert. Die Wärmeenergie wird zur Strukturumwandlung verbraucht. Bei Änderung des Aggregatzustandes wird diese latente Wärme dem Körper zugeführt oder entzogen. Die Temperatur während der Umwandlung bleibt konstant. Man unterscheidet spezifische und molare Wärmen ( $\Lambda_s$ : Schmelzwärmen und  $\Lambda_\nu$ : Verdampfungswärmen), die für jeden Stoff charakteristisch sind:

$$\Lambda_{s,\nu spez} = \frac{\Delta Q_{s,\nu}}{m} \quad ; \quad \Lambda_{s,\nu mol} = \frac{\Delta Q_{s,\nu}}{\nu} \quad (1.8)$$

### 1.2.7 Kalorimeter

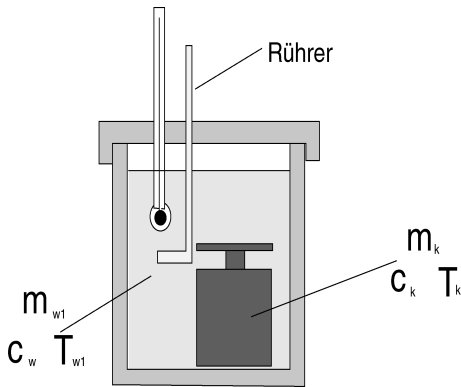


Abbildung 1.1: Mischungskalorimeter

Stoffmengen von unterschiedlicher Temperatur, die in Kontakt miteinander stehen, haben nach einer bestimmten Zeit die gleiche Temperatur angenommen. Wärmekapazitäten werden in Kalorimetern gemessen. Das Kalorimeter ist ein gut isoliertes Gefäß, welches Wärme schlecht von innen nach aussen oder umgekehrt leitet.

Im Inneren des Kalorimeters befinden sich Wasser der Masse  $m_{w_1}$  mit der spezifischen Wärmekapazität  $c_w$  bei der Temperatur  $T_{w_1}$ . Wird ein Körper der Masse  $m_k$  mit der spezifischen Wärmekapazität  $c_k$  und der Temperatur  $T_k$  in die Flüssigkeit eingetaucht, so stellt sich nach einiger Zeit die Mischungstemperatur  $T_m$  ein. Es muss die folgende Energiebilanz erfüllt sein:

$$m_{w_1}c_w(T_m - T_{w_1}) + C_{kal}(T_m - T_{w_1}) = m_k c_k (T_k - T_m) \quad (1.9)$$

$$c_k = \frac{m_{w_1}c_w + C_{kal}(T_m - T_{w_1})}{m_k(T_k - T_m)} \quad (1.10)$$

$C_{kal}$  ist die Wärmekapazität des Kalorimeters. Diese lässt sich bestimmen, indem man statt einen Körper in das Wasser zu tauchen, mit etwa der gleichen Menge Wasser  $m_{w_2}$  einer anderen Temperatur  $T_{w_2}$  das Kalorimeter auffüllt. Die spezifische Wärmekapazität von Wasser bei  $20^\circ\text{C}$  beträgt  $c_w = 4.182\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Für das Schmelzen von Eis der Masse  $m_e$  und der Temperatur  $T_e$  gilt folgende Energiebilanz:

$$(C_{kal} + m_{w_1})(T_{w_1} - T_m) = m_e \Lambda_{s, \text{spez}} + m_e c_e (T_m - T_e) \quad (1.11)$$

## 1.3 Versuch

Für alle Messungen gilt: Rühren Sie während der Messung ab und zu vorsichtig, um eine gleichmäßige Temperaturverteilung im Kalorimeter zu erhalten.

### 1.3.1 Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeters

- Wiegen Sie das Kalorimeter leer.
- Stellen Sie etwa 200g Wasser mit Zimmertemperatur bereit.
- Erwärmen Sie etwa 200g Wasser auf  $40^\circ\text{C}$  in eine zweiten Gefäß. Geben Sie das erwärmte Wasser in das Kalorimeter und schliessen Sie das Kalorimeter.
- Wiegen Sie das Kalorimeter erneut.
- Messen Sie jetzt 10 Minuten lang die Temperatur in Abständen von 30 Sekunden.
- Nach 5 Minuten geben Sie das bereitgestellte Wasser in das Kalorimeter und messen weiter.

### 1.3.2 Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität von Festkörpern

- Wiegen Sie den Probekörper
- Wiegen Sie das leere Kalorimeter.
- Geben Sie etwa 200g Wasser von Zimmertemperatur in das Kalorimeter.
- Wiegen Sie das Kalorimeter erneut.
- Erhitzen Sie den Probekörper im Wasserbad auf  $100^\circ\text{C}$
- Messen Sie 10 Minuten lang den Temperaturverlauf in Abständen von 30 Sekunden.
- Nach 5 Minuten geben Sie den Probekörper in das Kalorimeter und messen weiter.

Diese Messung ist für die drei vorliegenden Probekörper durchzuführen.

### 1.3.3 Bestimmung der Schmelzwärme von Eis

- Wiegen Sie das Kalorimeter leer
- Erwärmen Sie etwa 200g Wasser auf  $40^{\circ}\text{C}$  und geben Sie das Wasser in das Kalorimeter.
- Wiegen Sie etwa 300g Eis ab und geben es in ein Gefäss mit Löschpapier.
- Wiegen Sie das Kalorimeter erneut.
- Messen Sie den Temperaturverlauf für 5 Minuten in Abständen von 30 Sekunden.
- Nach 5 Minuten giessen Sie das Schmelzwasser vom Eis ab, trocknen das Eis mit dem Löschpapier und geben das Eis in das Kalorimeter.
- Messen Sie den Temperaturverlauf bis 5 Minuten nach Schmelzen des Eises in Abständen von 30 Sekunden.
- Wiegen Sie das Kalorimeter erneut und bestimmen Sie die Menge des zugegebenen Eises.

Hinweis: Das vollständige Schmelzen ist an einen erneuten Temperaturanstieg erkennbar.

## 1.4 Auswertung

### 1.4.1 Bestimmung der Mischtemperatur

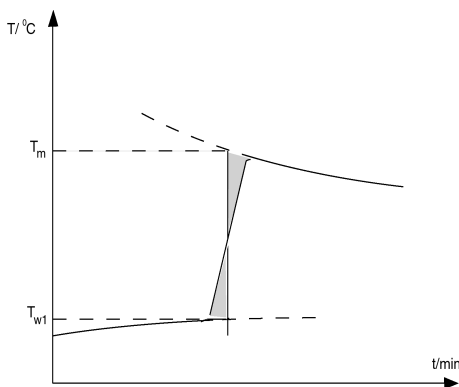


Abbildung 1.2: Temperatur-Zeit-Verlauf

Stellen Sie die Änderung der Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit für die einzelnen Versuche graphisch dar und ermitteln Sie die Mischungstemperatur  $T_m$ . Die Mischungstemperatur wird durch Extrapolation der Temperatur-Zeit Messkurve vorgenommen. Hier ein Beispiel für die Messung eines Probekörpers. Die Messpunkte werden in die Grafik eingetragen. In den Temperatursprung wird eine Gerade parallel zur Temperaturachse so eingezeichnet, dass die in Abb. 1.2 gezeigten schraffierten Flächen gleich gross sind. Aus den Schnittpunkten mit der Kurve werden die Temperaturen  $T_m$  und  $T_{w_1}$  ermittelt.

- Bestimmen Sie die Wärmekapazität des Kalorimeters
- Bestimmen Sie die spezifischen Wärmekapazitäten der drei Probekörper.
- Ermitteln Sie anhand der gefundenen spezifischen Wärmekapazitäten das Material der Probekörper.
- Bestimmen Sie die Schmelzwärme vom Eis.
- Weisen Sie die Regel von Dulong-Petit nach.

## 1.5 Anhang/Bilder