

Versuch T3

Bestimmung der spezifischen Wärme und der Schmelzwärme

10.10 TEX: 21. Februar 2012

I. Zielsetzung des Versuches

Ziel des Versuches ist es, die spezifische Wärme verschiedener Substanzen zu bestimmen und miteinander zu vergleichen. Im letzten Versuchsteil wird die Schmelzwärme des Eises gemessen.

II. Vorkenntnisse

1) allgemeine Vorkenntnisse

Energieeinheiten, Wärmemenge als Energieform, Wärmekapazität und spezifische Wärme, Schmelz- und Verdampfungswärme.

Literatur: Jedes Lehrbuch der Physik, Mechanik

2) spezielle Vorkenntnisse

Wasserwert eines Kalorimeters, Mischungsmethode in der Kalorimetrie

Literatur: WESTPHAL, Physikalisches Praktikum, Kap. III, Aufg. 11, 12;
GERTHSEN KNESER VOGEL, Kap. 5.1.3
W. WALCHER, Praktikum der Physik, Kap. 3.1, 3.2.0, 3.2.1
BERGMANN-SCHÄFER, Band 1, Kap. X, § 95

Zusammenhang zwischen Strom, Spannung und elektrischer Energie

Literatur: GERTHSEN KNESER VOGEL, Kap. 6.3.5
WILHELM WESTPHAL, Physik, Kap. 5, § 168

3) Fehlerrechnung

WESTPHAL, Physikalisches Praktikum, Kap. 8, 9, 10, 11

III. Theorie zum Versuch

Die Bestimmung von Wärmekapazitäten geschieht nach der Mischungsmethode. Hierbei werden in einem Kalorimeter zwei Substanzen verschiedener Anfangstemperatur T_1, T_2 gemischt und somit auf die gemeinsame Endtemperatur T_n gebracht. Dabei tauschen die Substanzen Wärme aus.

Es sei $T_1 < T_n < T_2$.

Die kältere Substanz nimmt die Wärmemenge Q_1 auf:

$$Q_1 = C_1(T_n - T_1)$$

Die wärmere Substanz gibt die Wärmemenge Q_2 ab:

$$Q_2 = -C_2(T_2 - T_n)$$

Wenn C_1 bekannt ist, folgt wegen $Q_1 + Q_2 = 0$

$$C_2 = C_1 \frac{T_n - T_1}{T_2 - T_n}. \quad (1)$$

C_1, C_2 sind die Wärmekapazitäten der beiden Stoffe.

In unserem Versuch benutzen wir Wasser als Substanz mit bekannter spezifischer Wärme. Es muß dabei aber berücksichtigt werden, daß der Behälter ebenfalls Energie mit der zu untersuchenden Substanz austauscht. Deshalb gilt:

$$C_1 = \Gamma + m_w c_w$$

m_w = Masse des Wassers im Behälter (Kalorimeter)

c_w ist die spezifische Wärmekapazität des Wassers,

$$c_w = 4,19 \text{ J/gK}$$

Γ ist der Wasserwert des Kalorimeters.

Zu Beginn des Versuchs muß deshalb der Wasserwert des Kalorimeters bestimmt werden, was ebenfalls nach der Mischungsmethode geschieht: Wasser der Menge m_1 wird im Kalorimeter auf die Temperatur T_1 gebracht. Dann wird Wasser der Masse m_2 und der Temperatur T_2 hinzugegeben und die Mischungstemperatur T_n abgelesen.

Es sei $T_2 < T_1$. Das anfänglich vorhandene Wasser gibt Wärme ab:

$$Q_1 = -m_1 c_w (T_1 - T_n),$$

ebenso der Behälter

$$Q_2 = -\Gamma (T_1 - T_n).$$

Das hinzugegebene Wasser nimmt Wärme auf:

$$Q_3 = m_2 c_w (T_n - T_2).$$

Aus der Energieerhaltung $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$ folgt:

$$\Gamma = m_2 c_w \frac{T_n - T_2}{T_1 - T_n} - m_1 c_w \quad (2)$$

Ist der Wasserwert bekannt, kann die spezifische Wärme eines Festkörpers c_k mit der Masse m_k nach Gleichung (1) bestimmt werden:

$$c_k = \frac{C_k}{m_k} = \frac{(\Gamma + m_w c_w)(T_n - T_1)}{m_k(T_2 - T_n)} \quad (3)$$

Hierbei ist C_k die Wärmekapazität des Festkörpers.

Im letzten Teil des Versuchs wird die Schmelzwärme des Eises nach der Mischungsmethode bestimmt. Für die Schmelzwärme ergibt sich (Herleitung!):

$$\lambda_s = \frac{(\Gamma + m_w c_w)(T_a - T_e)}{m_E} - c_w(T_e - T_s) \quad (4)$$

T_a, T_e ist die Anfangs- bzw. Endtemperatur des Wassers,

T_s ist die Schmelztemperatur von Eis,

m_E ist die Eismasse.

Da bei der Mischungsmethode der Temperaturengleich nicht momentan erfolgt, sondern endliche Zeit erfordert, und in dieser Zeit ein Wärmeaustausch mit der Umgebung stattfindet, ist es erforderlich, daß Sie vor und nach dem Mischen eine Temperatur-Zeit-Kurve aufnehmen und auf den Fall unendlich schnellen Ausgleichs extrapolieren. So erhalten Sie die theoretische Endtemperatur für den idealen Fall (kein Wärmeaustausch mit der Umgebung). (Siehe hierzu WESTPHAL, Physikalisches Praktikum, Abb. 24, 25 oder W. WALCHER, Praktikum der Physik, Fig. 3.4.)

In einem weiteren Versuchsteil soll die spezifische Wärme des Wassers nach einer anderen Methode bestimmt werden:

Einer bestimmten Menge Wasser mit der Anfangstemperatur T_0 wird elektrische Energie zugeführt:

$$W_{el} = U I t$$

(U = Spannung, I = Strom, t = Zeit).

Wasser und Behälter nehmen Energie auf und werden erhitzt:

$$W_{th} = (\Gamma + m_w c_w)(T - T_0).$$

Der Energieerhaltungssatz fordert:

$$W_{el} = W_{th}.$$

Gleichsetzen und Auflösen nach T liefert eine Geradengleichung:

$$T(t) = \frac{U I}{\Gamma + m_w c_w} t + T_0 \quad (5)$$

Nimmt man nun während des Heizvorganges eine Temperatur-Zeit-Kurve auf, so läßt sich aus der Geraden die spezifische Wärme des Wassers c_w berechnen.

IV. Versuchsdurchführung

Bei jeder Meßreihe sollten Sie folgendes berücksichtigen:

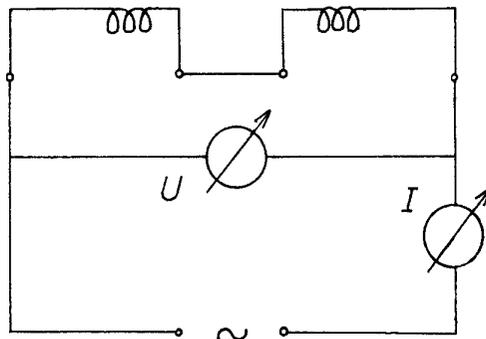
Zur Bestimmung der Massen dient eine Waage (Genauigkeit besser als 1 g). Wägen Sie zuerst das Kalorimeter mit und ohne Deckel. Die Masse des Inhalts bestimmt man jeweils durch Wägung des vollen Kalorimeters und anschließender Differenzbildung zur ersten Wägung (die Waage hat auch eine Tara-Funktion).

Temperaturen können bis auf 0,1 °C genau bestimmt werden. Dabei ist es wichtig, daß das Wasser vor jedem Ablesen umgerührt wird.

Nehmen Sie bei den Mischungsversuchen Vor- und Nachkurve jeweils 3 Minuten lang auf (Ableseung alle 30 Sekunden), und extrapolieren Sie auf den Fall des verlustfreien Ausgleichs.

1) Wasserwert des Kalorimeters

Geben Sie ca. 100 g Wasser ins Dewar-Gefäß (speziell isoliertes Kalorimeter) und heizen Sie mit dem elektrischen Heizzusatz auf ca. 40 °C. Folgende Schaltung ist zu benutzen:



$I_{max} = 3 \text{ A}$ darf nicht überschritten werden!

Beachten Sie, daß auf den Zuleitungen zum Heizeinsatz ein Spannungsabfall auftritt. Die Spannung sollte daher unmittelbar an den Anschlußbuchsen des Heizeinsatzes gemessen werden.

Setzen Sie nun den Deckel mit dem Sieb ein. Nach Aufnahme der Vorkurve geben Sie 100 g Wasser mit einer niedrigen Temperatur (ca. 25 °C) hinzu und schließen den Deckel wieder. Der Mischvorgang muß möglichst schnell erfolgen. Nehmen Sie sodann die Nachkurve auf.

Bestimmen Sie den Wasserwert nach Gleichung (2) ($c_w = 4,185 \text{ J/gK}$).
Vergleichen Sie mit dem erwarteten Wert von ca. 40 J/K.

2) Spezifische Wärme von Festkörpern

Im Topf wird Wasser mit Hilfe des Tauchsieders zum Sieden gebracht. Ein Reagenzglas mit Bleischrot wird ins siedende Wasser gehalten. Nach 3 Minuten wird der Tauchsieder abgeschaltet, das Reagenzglas bleibt noch 4 Minuten im Wasser. Lesen Sie nun die Temperatur des Wasserbades ab; es kann angenommen werden, daß im Reagenzglas die gleiche Temperatur herrscht.

Im Kalorimeter befinden sich 100 - 150 g Wasser mit Zimmertemperatur. Geben Sie das Bleischrot möglichst schnell dazu, achten Sie darauf, daß das Schrot ins Sieb fällt.

Bestimmen Sie daraus die spezifische Wärme nach Gleichung (3) (Γ aus Teil 1)).

Wiederholen Sie den Versuch mit Glas und Kupfer.

Zum Vergleich:	Cu	Pb	Glas	Fe	Na	Eis
$c \text{ [J/gK]}$	0,386	0,13	0,75	0,45	1,22	2,09

Hinweis: Schütten Sie das Schrot nach einer Messung auf ein Papiertuch zum Trocknen. Benutzen Sie dann den Trichter, um das Schrot in den Behälter zurückzugeben.

3) Spezifische Wärme von Wasser

Im Dewar-Gefäß werden mit dem elektrischen Heizzusatz ca. 200 g Wasser erwärmt (Schaltung wie oben, Wechselstrom max 3 A !).

Nehmen Sie 10 Minuten lang eine Temperatur-Zeit-Kurve auf, Ablesung jede Minute (vor jeder Messung rühren!). Übertragen Sie Ihre Meßpunkte auf Millimeterpapier und legen Sie eine Gerade durch. Aus der Steigung können Sie die spezifische Wärme berechnen.

Zum Vergleich:	H ₂ O	Hg	H ₂ SO ₄	Benzin
$c \text{ [J/gK]}$	4,185	0,14	1,4	2,1

4) Schmelzwärme des Eises

Bringen Sie im Kalorimeter ca. 100 g Wasser auf 40° C. Geben Sie dann zwei Stücke (etwa 20 g) gut abgetrocknetes (warum?) Eis möglichst schnell hinzu. Die Nachkurve muß jetzt bis 3 Minuten nach Schmelzen des Eises gemessen werden.

Berechnen Sie die Schmelzwärme nach Gleichung (4).

Zum Vergleich:	Eis	Hg	O	N	H	Benzol
c [J/g]	333,7	11,8	14	25	58	128

V. Fehlerrechnung

Von allen fehlerbehafteten Größen beeinflussen die Temperaturen die Rechnung am stärksten. In der Fehlerrechnung kann deshalb der Fehler der Massen vernachlässigt werden.

Am Beispiel des Wasserwertes soll nun der Umgang mit Fehlerfortpflanzungsgesetzen gezeigt werden. Allgemein gilt für den Fehler einer zusammengesetzten Größe $F(a, b, c)$:

$$\Delta F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial a} \Delta a\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial b} \Delta b\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial c} \Delta c\right)^2} \quad (6)$$

Man sieht sofort, daß sich der Fehler einer Summe $F = a + b$ wie folgt zusammensetzt:

$$\Delta F = \sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (7)$$

Also gilt für den Fehler des Wasserwertes:

$$\Gamma = m_2 c_w \frac{T_n - T_2}{T_1 - T_n} - m_1 c_w \quad (8)$$

$$(\Delta \Gamma)^2 = \left\{ \Delta \left(m_2 c_w \frac{T_n - T_2}{T_1 - T_n} \right) \right\}^2 + \{ \Delta(m_1 c_w) \}^2 \quad (9)$$

Wir setzen $\Delta m = 0$ für m_1 und m_2

$$\Delta(m_1 c_w) = 0 \quad (10)$$

$$\left\{ \frac{\Delta \left(m_2 c_w \frac{T_n - T_2}{T_1 - T_n} \right)}{m_2 c_w \frac{T_n - T_2}{T_1 - T_n}} \right\}^2 = \left\{ \frac{\Delta(T_n - T_2)}{T_n - T_2} \right\}^2 + \left\{ \frac{\Delta(T_1 - T_n)}{T_1 - T_n} \right\}^2 \quad (11)$$

Die Fehler der Temperaturen sind gleich: $\Delta T_1 = \Delta T_2 = \Delta T_n =: \Delta T$

$$(\Delta(T_n - T_2))^2 = (\Delta T_n)^2 + (\Delta T_2)^2 = 2(\Delta T)^2 \quad (12)$$

$$\text{Ebenso} \quad (\Delta(T_1 - T_n))^2 = 2(\Delta T)^2 \quad (13)$$

Aus (9) bis (13) folgt:

$$(\Delta\Gamma)^2 = 2(m_2 c_w \Delta T \frac{T_n - T_2}{T_1 - T_n})^2 \left\{ \frac{1}{(T_n - T_2)^2} + \frac{1}{(T_1 - T_n)^2} \right\} \quad (14)$$

Für den Fehler des Wasserwertes gilt damit:

$$\Delta\Gamma = \frac{m_2 c_w \Delta T \sqrt{2}}{(T_1 - T_n)^2} \sqrt{(T_n - T_2)^2 + (T_1 - T_n)^2} \quad (15)$$

Bestimmen Sie nach dem gleichen Verfahren die Fehler der anderen berechneten Größen. Beachten Sie, daß dabei der Fehler des Wasserwertes ebenfalls eingeht.

Anhang A

Geräteliste:

- 1 Dewar-Gefäß (Kalorimeter mit Deckel)
- 1 elektrischer Heizzusatz zum Dewar-Gefäß
- 1 Spannungsquelle
- 2 Strom-/Spannungsmeßgeräte
- 2 Digitalthermometer
- 1 Waage
- 1 Plastikbecher (1 Liter)
- 1 Kochtopf
- 1 Tauchsieder
- 3 Reagenzgläser
- 1 Stopfen für Reagenzgläser
- 1 Klammer für Reagenzgläser
- 1 Trichter
- Blei-, Glas-, Kupferschrot
- Papierhandtücher
- 1 Stoppuhr

