

Versuch 42 - Wärmekapazität

PAP 1

18.9.2025

Teilnehmender Student: **Paul Saß**

Gruppe: 9

Kurs: Vormittags

Tutor/in : Dimitrij Bathauer

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Ziel des Versuchs	1
1.3	Messverfahren	1
2	Durchführung	2
3	Auswertung	3
3.1	Aufgabe I	3
3.2	Aufgabe II	3
3.2.1	Vergleiche	4
3.3	Aufgabe III	4
4	Zusammenfassung und Diskussion	6

1. Einleitung

1.1 Motivation

Bei der Energiegewinnung durch Solarzellen stellt bislang der Energiespeicher eine Begrenzung der Effizienz dar. Da Solarzellen nur Tagsüber und bei gutem Wetter effizient funktionieren, muss die Energie gut gespeichert werden um auch Nachts oder bei Regen Energie liefern zu können. Ein Konzept für einen Energiespeicher ist das Speichern der erzeugten Wärme in Salzschnmelzen. Diese sind besonders Effizient aufgrund ihrer hohen Wärmekapazität. Das bedeutet, dass sie viel Wärme aufnehmen können, bevor sich ihre Temperatur drastisch erhöht. Doch gibt es noch effizientere Wärmespeicher? Dieses Experiment vermittelt die Größe der Wärmekapazität um ein anschauliches Verständnis dieser zu erlangen.

1.2 Ziel des Versuchs

Das Ziel des Versuchs ist es die Größen der Wärmekapazität kennen und einordnen zu lernen. Durch das bestimmen der Wärmekapazität verschiedener Materialien bei verschiedenen Temperaturen wird vermittelt, dass Wärmekapazitäten Stoff und Temperaturabhängig sind.

1.3 Messverfahren

Verwendet wird in dem ersten Teil der Versuchs ein Wasserkalorimeter. Um am Ende die Wärmekapazitäten der Stoffe zu bestimmen werden die Gewichte dieser benötigt und zunächst der Wasserwert, also die Wärmekapazität des Kalorimeters, bestimmt. Dafür wird das Kalorimeter mit etwa 50°C warmen Wasser befüllt und in regelmäßigen Zeitabständen die Temperatur bestimmt.

Im zweiten Teil werden die großen Massen auf die Siedetemperatur von Wasser erhitzt. Anschließend werden sie in das Kalorimeter gelassen, welches mit Wasser auf Zimmertemperatur gefüllt wurde. Darauf wird die sich einstellende Maximaltemperatur abgelesen und daraus mithilfe des Wasserwerts die Wärmekapazität der einzelnen Proben bestimmt.

Zuletzt wird ein ähnliches Prinzip in Stickstoff angewand. Die kleinen Proben befinden sich auf Zimmertemperatur. Diese werden in ein abgewogenes Dewargefäß mit flüssigem Stickstoff gelassen. Hört der Stickstoff auf zu siedern ist die Gleichgewichtstemperatur erreicht. Abschließend wird die Massendifferenz des Dewargefäßes bestimmt, welche der Menge des verdunsteten Stickstoffs entspricht. Damit werden erneut die Wärmekapazitäten berechnet.

hh

$$W = \frac{c_w (T - T_1) (m_w - m_k)}{T_2 - T} \quad (1.1)$$

$$T = 100^{\circ}\text{C} + 0,0276 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{hPa}} (p - 1014\text{hPa}) \quad (1.2)$$

$$c_x = \frac{Q_V m_V}{m_x (T_1 - T_2)} \quad (1.3)$$

2. Durchführung

3. Auswertung

3.1 Aufgabe I

In Diagramm 1 wurden die gemessenen Temperaturen im Kalorimeter gegen die vergangene Zeit aufgetragen. Die Werte stammen aus Tabelle 2. Durch Verlängerung des linearen Anteils zum Anfangszeitpunkt $t = 0s$ konnte die Gleichgewichtstemperatur \bar{T} abgelesen werden. Der Fehler wird mithilfe einer Fehlergeraden bestimmt. Durch die Differenz der Werte bei $t = 0$ ergibt sich der Fehler:

$$\underline{\underline{\bar{T} = (48,6 \pm 0,4)^\circ C}}$$

$$\Delta\bar{T} = \bar{T} - \bar{T}_{Fehler} \quad (3.1)$$

Aus der Gleichgewichtstemperatur \bar{T} lässt sich die Wärmekapazität des Kalorimeters also der Wasserwert mit Gleichung 1.1 berechnen:

$$W = (95 \pm 17) \frac{J}{K}$$

Der Fehler folgt nach dem Fehlerrechner aus dem Skript:

$$\frac{\Delta W}{W} = \sqrt{\frac{\Delta T^2 (T_2 - T_1)^2}{(T - T_1)^2 (T - T_2)^2} + \frac{\Delta T_1^2}{(T - T_1)^2} + \frac{\Delta T_2^2}{(T - T_2)^2} + \frac{\Delta m_k^2}{(m_k - m_w)^2} + \frac{\Delta m_w^2}{(m_k - m_w)^2} + \frac{\Delta c_w^2}{c_w^2}} \quad (3.2)$$

Vergleicht man den erhaltenen Wert mit dem Literaturwert von $70 \frac{J}{K}$ so ergibt sich eine Abweichung des Messwerts von $1,5 \sigma$

3.2 Aufgabe II

Für die Berechnung der spezifischen Wärme muss zuerst die Siedetemperatur des Wassers bei gemessenem Luftdruck berechnet werden. Dabei gilt nach Gleichung 1.2 für die Siedetemperatur T_1 mit einem gemessenen Luftdruck von 1012,3 hPa:

$$T_1 = (99,9806 \pm 0,0028)^\circ C$$

Daraus ergibt sich für die spezifische Wärmekapazität c_m und die Molwärme $c_{mol} = c_m \cdot M$ mit M als molarer Masse:

Material	$m_{kw}[g]$	$T_{vor}[^\circ C]$	$T_{nach}[^\circ C]$	$c_m[J/gK]$	$c_{mol}[J/molK]$
Graphit	$592,47 \pm 0,01$	$24,30 \pm 0,07$	$28,70 \pm 0,09$	$0,77 \pm 0,02$	$9,25 \pm 0,24$
Alu.	$622,29 \pm 0,01$	$30,6 \pm 0,1$	$35,7 \pm 0,1$	$0,84 \pm 0,03$	$22,7 \pm 0,8$
Blei	$623,28 \pm 0,01$	$28,00 \pm 0,08$	$31,20 \pm 0,09$	$0,13 \pm 0,01$	27 ± 2

Dadurch, dass beim Thermometer ein systematischer Fehler vorhanden ist, wird zuerst die Differenz $A = \bar{T} - T_2$ berechnet, da sich dort dieser Fehler aufhebt. Bei der restlichen Fehlerrechnung

wurde der systematische Fehler berücksichtigt.

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{\Delta W}{W}\right)^2 &= \frac{c_w^2 \Delta m_k^2}{(W - c_w m_k + c_w m_w)^2} + \frac{c_w^2 \Delta m_w^2}{(W - c_w m_k + c_w m_w)^2} \\
 &+ \frac{\Delta T^2}{(T - T_2)^2} + \frac{\Delta T_2^2}{(T - T_2)^2} + \frac{\Delta W^2}{(W - c_w m_k + c_w m_w)^2} \\
 &+ \frac{\Delta c_w^2 (m_k - m_w)^2}{(W - c_w m_k + c_w m_w)^2} + \frac{\Delta m_x^2}{m_x^2} + \frac{\Delta A^2}{A^2}
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

3.2.1 Vergleiche

Die Werte werden nun mit den Literaturwerten verglichen. Zusätzlich wird die spezifische Wärmekapazität mithilfe Dulong-Petit berechnet:

$$c_{DP} = 3 \frac{R}{M} \tag{3.4}$$

Mit $R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{molK}}$ als universelle Gaskonstante und M als molare Masse. Daraus lässt sich folgende Tabelle erstellen.

Material	$c_m [\text{J/gK}]$ gemessen	$c_m [\text{J/gK}]$ Literatur	σ_{Lit}	c_{DP}	σ_{DP}
Graphit	$0,77 \pm 0,02$	0,709	3	2,077	70
Alu.	$0,84 \pm 0,03$	0,90	2	0,925	2,8
Blei	$0,13 \pm 0,01$	0,129	0,1	0,120	1

3.3 Aufgabe III

Im letzten Teil werden die Molwärmen und spezifischen Wärmekapazitäten mithilfe Gleichung 1.3 bei der Temperatur von Siedendem Stickstoff berechnet.

Material	$c_m [\text{J/gK}]$	$c_{mol} [\text{J/molK}]$
Graphit	$0,5098 \pm 0,0023$	$6,123 \pm 0,027$
Alu.	$0,759 \pm 0,003$	$20,48 \pm 0,08$
Blei	$0,1298 \pm 0,0006$	$26,89 \pm 0,12$

Dabei gilt der folgende Fehler.

$$\frac{\Delta c_m}{c_m} = \sqrt{\frac{\Delta T_1^2}{(T_1 - T_2)^2} + \frac{\Delta m_x^2}{m_x^2}} \tag{3.5}$$

Abschließend wird das Verhältnis der Molwärmen bei beiden Temperaturen bestimmt woraus die Debye-Wärme bestimmt werden kann. Für den Fehler des Verhältnisses gilt:

$$\frac{\Delta \left(\frac{c_{molN_2}}{c_{molH_2O}} \right)}{\left(\frac{c_{molN_2}}{c_{molH_2O}} \right)} = \sqrt{\left(\frac{\Delta c_{molN_2}}{c_{molN_2}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta c_{molH_2O}}{c_{molH_2O}} \right)^2} \tag{3.6}$$

Zuletzt lassen sich die Ergebnisse in folgender Tabelle zusammenfassen.

Eigenschaft	Graphit	Aluminium	Blei
Kalorimeter			
spez. Wärme. $c_m[\text{J/gK}]$	$0,77 \pm 0,02$	$0,84 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,03$
Molwärme $c_{mol}[\text{J/molK}]$	$9,25 \pm 0,24$	$22,7 \pm 0,8$	27 ± 2
In Stickstoff			
spez. Wärme. $c_m[\text{J/gK}]$	$0,5098 \pm 0,0023$	$0,759 \pm 0,003$	$0,1298 \pm 0,0006$
Molwärme $c_{mol}[\text{J/molK}]$	$6,123 \pm 0,027$	$20,48 \pm 0,08$	$26,89 \pm 0,12$
$\frac{c_{molN_2}}{c_{molH_2O}}$	$0,66 \pm 0,17$	$0,93 \pm 0,03$	$1,00 \pm 0,07$
Debye-Temp. $\Theta[\text{K}]$	80 ± 18	210 ± 10	630 ± 30
Abweichung σ von Θ	$0,8$	22	50

4. Zusammenfassung und Diskussion