

Physiklabor für Anfänger*innen
Ferienpraktikum im Sommersemester 2018

Versuch 31: Mischungsmethode in der Kalorimetrie

(durchgeführt am 12.09.2018 bei Nico Strauß)
Ye Joon Kim, Marouan Zouari
21. September 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Ziel des Versuchs	2
3	Aufbau	2
4	Versuchsdurchführung	3
5	Auswertung und Fehleranalyse	4
5.1	1. Versuchsteil: Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeters	4
5.2	2. Versuchsteil: Bestimmung der Schmelzwärme von Eis . . .	7
6	Diskussion der Ergebnisse	8
6.1	Systematische und statistische Fehler :	8
6.2	Diskussion über die gefundenen Werte :	8
6.3	Mögliche Methoden zur Verbesserung des Experiments: . . .	9
7	Literatur	9
8	Anhang	9

1 Einleitung

Die Wärmekapazität ist das Verhältnis der einem Körper zugeführte Wärme zu seiner Temperaturerhöhung. Bei Experimenten mit Kalorimeter ist es oft hilfreich die Wärmekapazität des Kalorimeters zu kennen, damit bessere Ergebnisse bekommen werden können.

Aber, es gibt auch Ausnahme, wobei die Temperatur trotz Energiezufuhr sich nicht erhöht. Bei Phasenübergänge verursacht die Aufnahme oder Abgabe von Wärme keine Temperaturänderung. Die latente Wärme quantifiziert die Menge Wärme, die bei einem Phasenübergang aufgenommen oder abgegeben wird, ohne die Temperatur zu ändern. Insbesondere ist die latente Wärme beim Schmelzen auch als Schmelzwärme bezeichnet.

2 Ziel des Versuchs

Das Ziel dieses Versuchs ist es, mit der Mischungsmethode verschiedene physikalische Werte zu bestimmen.

In dem ersten Versuchsteil wird die Mischungsmethode verwendet um die Wärmekapazität eines Kalorimeters zu bestimmen.

In dem zweiten Teil wird die Schmelzwärme von Eis bestimmt.

3 Aufbau

Der Aufbau für diese Experiment besteht aus 3 wichtige Komponenten :

Das Kalorimeter, wo das Mischen der Flüssigkeiten stattfinden.

Ein elektrisches Thermometer, das die Temperatur durch elektrischen Strom, der von dem Temperaturwechsel verursacht wird, bestimmt.

Ein Computer mit dem Programm LabVIEW, der die Konversion und das Aufnehmen der Daten ermöglicht .

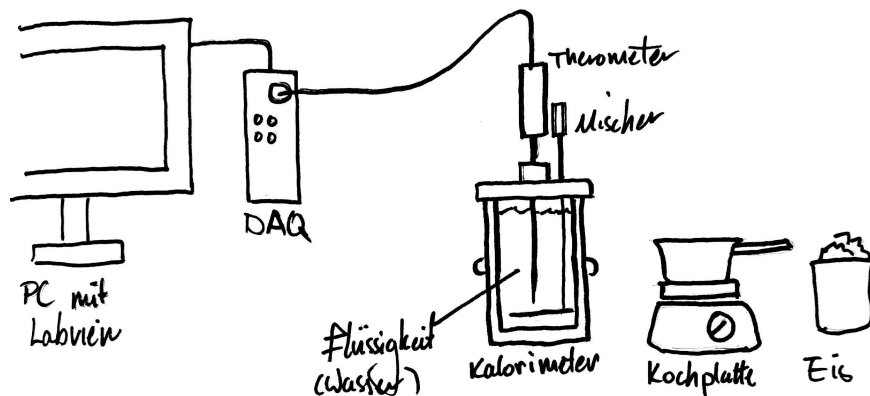


Abbildung 1: Aufbau zu beiden Versuchsteilen

4 Versuchsdurchführung

In für diesen Versuch muss das Programm zur Auswertung und Aufnahme zuerst kalibriert werden.

Zur Kalibrierung wurde Eis und kochendes Wasser verwendet. Zuerst wurde die Temperatur von Eis mit dem Thermometer gemessen. Für die akkurate Messung von $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ wurde es gewartet, bis das Eis ein bisschen geschmolzen war, damit eine Eis-Wasser Mischung entstanden war. Die Abweichung von $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ wurde dann von dem Messwert subtrahiert, damit der Apparat $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ genau misst. Dann wurde die Temperatur des kochendes Wasser gemessen. Sei T der gemessene Wert. Die Messwerte wurden dann mit $\frac{100}{T}$ multipliziert, um die Messungen zu 'Skalieren'. Dadurch sind die Messwerte für $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ akkurat, und deshalb der Thermometer kalibriert.

In dem 1. Teil geht es um die Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeters durch die Aufstellung einer Wärmeenergiebilanz. Dafür wurde eine Wassermenge, m_h , mit der Temperatur T_h , in das Kalorimeter gegossen. Es wurde gewartet, bis die in dem Programm gezeigte Temperatur zirka Konstant war. Danach wurde eine Wassermenge, m_k ($m_k < m_h$), mit der Temperatur T_k , ($T_k < T_h$), hinzugefügt.

Ein ständiges Mischen mit dem Mischer war notwendig, um eine Mischung mit möglichst homogener Temperatur zu gewährleisten. Nachdem die Temperatur wieder stabil war, wurde die erhaltenen Daten aufgenommen und mit dem Extrapolationsverfahren wurde T_M berechnet.

Der gesamte Prozesse wurde 3 mal wiederholt, um mögliche statistische Fehler zu verringern.

Für die Bestimmung der Schmelzwärme von Eis wurde eine Wassermenge, m_W , mit der Temperatur T_W in das Kalorimeter gegossen. Als die

gemessene Temperatur innerhalb des Kalorimeters stabil war, wurde eine Eismenge m_{eis} , mit Temperatur T_{eis} ($T_{eis} = 0^\circ C$) hinzugefügt.

Die Wassermenge soll ausreichend sein, um das Eis schmelzen zu können.

Hier ist ein ständiges Mischen für den gleichen Grund wie im 1. Teil notwendig. Die Daten wurden nach der Stabilisierung der Temperatur innerhalb des Kalorimeters (deshalb als die Eisstücke vollständig geschmolzen waren) aufgenommen und die Werte für T_M wurden mit dem Extrapolationsverfahren bestimmt. Um statistische Fehler zu verringern wurden 3 Messereihe durchgeführt.

5 Auswertung und Fehleranalyse

5.1 1. Versuchsteil: Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeters

Zur Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeters wird die folgende Wärmeenergiebilanz benutzt:

$$\Gamma_{\text{Kal}} = c_W(m_k\beta - m_h) \quad \text{mit} \quad \beta = \frac{T_M - T_k}{T_h - T_M} \quad (1)$$

Die Werte von T_M wurden durch das Extrapolationsverfahren erhalten. Und Für das Extrapolationsverfahren wurde das Photoshop® Programm von Adobe benutzt:

Eine Kurve wurde mit dem Pen-tool gezeichnet, die den Temperaturverlauf modelliert. Dann wurde eine Senkrechte Linie eingezeichnet nach dem Zeitpunkt, wo das kalte Wasser in das Kalorimeter gegossen wurde. Mit dem Lasso-Tool kann die Gebiete zwischen die Kurve und die Linie ausgewählt und deren Flächen berechnet werden. Die Linie wurde bewegt, bis beide Gebiete schätzungsweise gleich waren.

Die Unsicherheiten bei der Temperatur wurden von dem Diagramm abgeschätzt.

Siehe Abbildungen 2,3 auf nächster Seite.

Die Werte für die drei Messereihe sind :

Messreihe	T_M ° C	ΔT_M ° C
1	43	2
2	23	2
3	61	2

Tabelle 1: Die berechneten Mischungstemperaturen und deren Unsicherheiten.

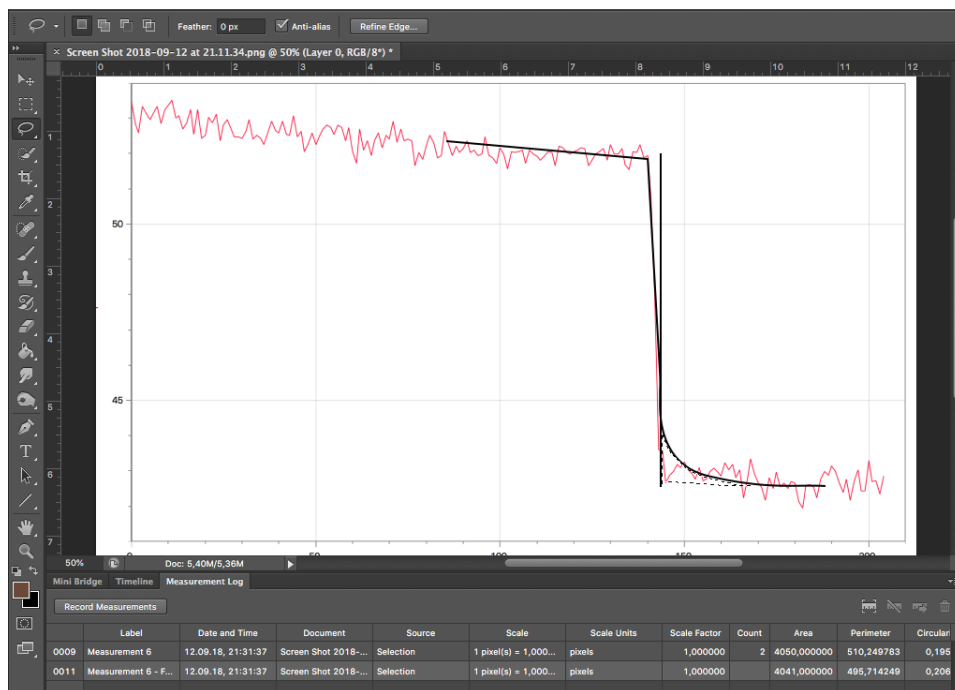


Abbildung 2: Benutzung von Photoshop um die Fläche von beide Gebiete vor und nach der Senkrechte Strecke zu bestimmen

Area
4050,000000
4041,000000

Abbildung 3: Vergleich der Flächen beider Gebiete. (Einheiten in Pixels)

Jetzt lassen sich die Werte für Γ_{Kal} mit den Werten für T_h , T_k , m_k , und m_h bestimmen. Die Werte von Γ_{Kal} für die drei Messreihen sind:

Messreihe	Γ_{Kal} J / K	$\Delta\Gamma_{\text{Kal}}$ J/ K
1	107	95
2	126	176
3	15	73

Tabelle 2: Die Wärmekapazität des Kalorimeters und deren Unsicherheiten.

Für die Berechnung der Unsicherheit $\Delta\Gamma_{\text{Kal}}$ wurden die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung benutzt. mit:

$$f(m_k, m_h, T_M, T_k, T_h) = c_W(m_k \frac{T_M - T_k}{T_h - T_M} - m_h)$$

$$\frac{\partial f}{\partial m_k} = c_W \frac{T_M - T_k}{T_h - T_M}$$

$$\frac{\partial f}{\partial m_h} = -c_W$$

$$\frac{\partial f}{\partial T_h} = -c_W m_k \frac{T_M - T_k}{(T_h - T_M)^2}$$

$$\frac{\partial f}{\partial T_k} = \frac{-c_W m_k}{T_h - T_M}$$

$$\frac{\partial f}{\partial T_M} = c_W m_k \frac{T_h - T_k}{(T_M - T_h)^2}$$

Aber da $\frac{\partial f}{\partial T_M} \Delta T_M$, $\frac{\partial f}{\partial T_h} \Delta T_h$ und $\frac{\partial f}{\partial T_k} \Delta T_k$ überwiegend größer als die anderen Terme (mindestens dreimal größer) sind, wurden die Unsicherheit berechnet als:

$$\Delta\Gamma_{\text{Kal}} = \sqrt{(\frac{\partial f}{\partial T_M} \Delta T_M)^2 + (\frac{\partial f}{\partial T_h} \Delta T_h)^2 + (\frac{\partial f}{\partial T_k} \Delta T_k)^2}$$

Der Mittelwert und seine Unsicherheit (Standardabweichung) lauten:

$$(83 \pm 60) \text{ J / K}$$

5.2 2. Versuchsteil: Bestimmung der Schmelzwärme von Eis

Die Schmelzwärme von Eis (mit q_{Eis} bezeichnet) lässt sich mit der folgenden Formel bestimmen:

$$q_{\text{Eis}} = \frac{(m_W c_W + \Gamma_{\text{Kal}})(T_W - T_M) - m_{\text{Eis}} c_W (T_M - T_{\text{Eis}})}{m_{\text{Eis}}} \quad (2)$$

Die Werte für T_M lassen sich wiederum mit dem obigen Extrapolationsverfahren (in Teil 4.1) bestimmen:

Messreihe	T_M ° C	ΔT_M ° C
1	25	2
2	32	2
3	38	2

Tabelle 3: Die Mischungstemperaturen und deren Unsicherheiten

Die Werte für T_M eingesetzt in Formel (2) liefert:

Messreihe	q_{Eis} J / kg	Δq_{Eis} J / kg
1	$668,4 \cdot 10^3$	10^3
2	$110 \cdot 10^3$	$96 \cdot 10^3$
3	$21 \cdot 10^3$	$22 \cdot 10^3$

Tabelle 4: Die berechneten Werte für die Schmelzwärme von Eis

Für die Unsicherheiten Δq_{Eis} wurde die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung benutzt. Mit:

$$f(m_W, \Gamma_{\text{Kal}}, T_W, T_M, m_{\text{Eis}}) = \frac{(m_W c_W + \Gamma_{\text{Kal}})(T_W - T_M) - m_{\text{Eis}} c_W (T_M - T_{\text{Eis}})}{m_{\text{Eis}}}$$

sind:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial m_W} &= \frac{c_W (T_W - T_M)}{m_{\text{Eis}}} \\ \frac{\partial f}{\partial \Gamma_{\text{Kal}}} &= \frac{T_W - T_M}{m_{\text{Eis}}} \\ \frac{\partial f}{\partial T_W} &= \frac{m_W c_W + \Gamma_{\text{Kal}}}{m_{\text{Eis}}} \\ \frac{\partial f}{\partial T_M} &= \frac{-m_W c_W - \Gamma_{\text{Kal}} - m_{\text{Eis}} c_W}{m_{\text{Eis}}} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial f}{\partial m_{\text{Eis}}} = -\frac{m_W c_W + \Gamma_{\text{Kal}}}{m_{\text{Eis}}^2}$$

Aber da der Betrag von $\frac{\partial f}{\partial \Gamma_{\text{Kal}}} \Delta \Gamma_{\text{Kal}}$ mindestens dreimal größer war als alle andere Beträge, wurden die anderen Beträge vernachlässigt. Die Unsicherheiten der Werte für q_{Eis} sind dann durch

$$\Delta q_{\text{Eis}} = \frac{\partial f}{\partial \Gamma_{\text{Kal}}} \Delta \Gamma_{\text{Kal}}$$

zu bestimmen.

Der Mittelwert der Werte und seine Unsicherheit (Standardunsicherheit) ist dann:

$$(330 \cdot 10^3 \pm 290 \cdot 10^3) \text{ J/K}$$

6 Diskussion der Ergebnisse

6.1 Systematische und statistische Fehler :

Bei beiden Teile könnten verschiedene statistische und systematische Fehler auftauchen.

In dem 1. Teil wurde kochendes und heißes Wasser benutzt. Die gemessene Wassermenge kann nicht konstant sein, da ein Teil davon als Dampf verloren geht. Dadurch entsteht ein statistischer Fehler bei den Werten für m_h . Ein anderer statistischer Fehler stammt von der Unterbrechung der Isolierung des Kalorimeters bei dem Einfüllen der zweiten Wassermenge.

Außerdem ist es angenommen, dass das Kalorimeter verlustfrei ist. Das stimmt in der Wirklichkeit nicht, wodurch ein systematischer Fehler entsteht, da die gemessene Temperatur immer größer als die reelle Temperatur ist.

In dem 2. Teil wurde angenommen, dass das Eis eine anfängliche Temperatur von 0°C hat, aber in der Realität könnte es der Fall sein, dass das Wasser nicht 100% reines Wasser ist. Deswegen sind die Werte von q_{Eis} , die durch die Formel $q_{\text{Eis}} = \frac{(m_W c_W + \Gamma_{\text{Kal}})(T_W - T_M) - m_{\text{Eis}} c_W (T_M - T_{\text{Eis}})}{m_{\text{Eis}}}$ berechnet wurden, eine Angleichung. Dies führt zu einem systematischen Fehler.

Darüber hinaus sind eventuelle Kontakte zwischen dem Mischer und dem elektrischen Thermometer beim Mischen, als auch die Unterbrechung der Isolierung des Kalorimeters beim Einfüllen vom Eis Ursprünge von statistischen Fehler.

6.2 Diskussion über die gefundene Werten :

Bei dem ersten Teil dieses Versuchs ist die berechnete Wärmekapazität des Kalorimeters gleich

$$(83 \pm 60) \frac{\text{J}}{\text{K}}.$$

Weil die Unsicherheit bei 75% liegt ist der Wert nicht von großer Bedeutung.

Gründe dafür könnten die vorher erwähnten statistischen und systematischen Fehler sein.

Die berechnete Schmelzwärme von Eis lautet:

$$\begin{aligned} & (330 \cdot 10^3 \pm 290 \cdot 10^3) \frac{\text{J}}{\text{K}} \\ &= (330 \pm 290) \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \end{aligned}$$

Der Wert liegt sehr nah am Literaturwert, der $(333,5 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{K}})$ ist („Enthalpy of Fusion“). Jedoch ist die Unsicherheit des Wertes selbst 88%, also ist das Ergebnis nicht von großer Signifikanz. Deswegen kann das Ergebnis dieses Teils des Versuchs nicht als Nachweis für den Literaturwert genommen werden.

6.3 Mögliche Methoden zur Verbesserung des Experiments:

Um die Isolierung des Kalorimeters besser zu bewahren, könnte das Eis in kleineren Stücken mit bekannten Massen vorbereitet sein, sodass es durch eine kleinere Öffnung in einer kürzeren Zeit in das Kalorimeter eingefüllt werden könnte.

Das selbe gilt auch für den ersten Teil.

Außerdem sollte berücksichtigt werden, dass das Wasser nicht 100% destilliertes Wasser ist, und deshalb die anfängliche Temperatur des Eises nicht genau gleich 0°C ist. Deshalb sollte eine verallgemeinerte Formel für die Bestimmung von q_{eis} benutzt werden.

7 Literatur

„Enthalpy of Fusion.” Wikipedia. (https://en.wikipedia.org/wiki/Enthalpy_of_fusion).

„Versuchsanleitung zum Physiklabor für Anfänger*innen.” Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

8 Anhang

Siehe Zusatzblatt für rohe Daten.