



PHYSIKALISCHES GRUNDPRAKTIKUM I

Versuchsprotokoll

P2 : T1 – Wärmekapazität eines Kalorimeters

Versuchsort: Raum 214 - 1

Versuchsbetreuer: Mohrhardt, R.

Name:

Drobniewski, Kai;

Matr.Nr.:

Versuchspartner:

Matr.Nr.:

22. April 2009

Inhaltsverzeichnis

1. Abstrakt	1
2. Versuchsaufbau und -durchführung	1
3. Messergebnisse und Auswertung	3
3.1 Elektrische Methode	3
3.2 Auflistung der Fehler der elektrischen Methode	5
3.3 Mischungsmethode	6
3.4 Auflistung der Fehler der Mischungsmethode	7
4. Fehleranalyse und Ergebniseinschätzung	8
4.1 Auswertung der Ergebnisse	8
5. Anhang	9
5.1 Messdatenprotokoll	9

1. ABSTRAKT

Ein Kalorimeter wird zur Bestimmung von abgegebener oder freigesetzter Wärmemenge bei physikalischen, chemischen oder biologischen Prozessen oder der spezifischen Wärmekapazität eines Stoffes gebraucht. Dazu benötigt man aber die Wärmekapazität des Kalorimeters.

In dem Versuch soll diese mittels Temperaturänderung von Wasser bestimmt werden. Zuerst erfolgt dies mittels elektrischer Methode, als zweites mit der Mischungsmethode.

2. VERSUCHSAUFBAU UND -DURCHFÜHRUNG

Bei der elektrischen Methode wird im Kalorimeter 5 min lang 300cm^3 Wasser mit einer Heizspirale erhitzt. Die Wärmemenge wird dabei sowohl an das Wasser, als auch an das Kalorimeter und die Umgebung übertragen. Die Temperaturdifferenz wird dann mittels Wärmeaustauschkorrektur bestimmt. Diese Methode wird zweimal praktiziert.

Bei der Mischungsmethode wird dann 150cm^3 Leitungswasser im Kalorimeter mit 150cm^3 Wasser von $35 - 45\text{ }^\circ\text{C}$ gemischt und die Mischungstemperatur T_m gemessen. Diese Methode wird dreimal durchgeführt.

Für detailliertere Informationen betrachte man das Script.

Benutzte Messmittel, bzw. angegebene Unsicherheiten:

MESSINSTRUMENT	MESSUNSICHERHEIT
Digital-Stoppuhr	$0,01\text{s} + 5 \cdot 10^{-4}\text{ t}$
Messzylinder	2ml + 1ml
Thermometer	0,1% v. MW + $0,2^\circ\text{C}$
Amperemeter	1% v.d. Skala + 0,05A
Voltmeter	0,5% v.d. Skala + 0,5V

Für den Versuch wurde eine Raumtemperatur von $(23,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ gemessen. Während des Versuchs war ein Fenster leicht geöffnet und die Tür wurde mehrmals geöffnet, wodurch ein Durchzug entstand. Nach dem Raumthermometer erfolgte keine Temperaturänderung.

Zu Beginn wurde für die Spannungsmessung die 130V-Skala benutzt, wodurch wegen der kleinen Abstände am Anfang die Ablesegenauigkeit eingeschränkt wurde. Beim zweiten Mal wurde daraufhin die 65V-Skala benutzt. Für die Stromstärkemessung wurde die ganze Zeit die 5A-Skala verwendet.

Berechnungen erfolgten per Hand und unter Verwendung von „QtiPlot“.

Für die Messwerte siehe Anhang.

Verwendete Werte: $c_w = 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

$$\rho = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

ρ – Dichte Wasser

Folgende Formeln aus dem Script wurden verwendet:

$$I \cdot U \cdot \Delta t = (m_w \cdot c_w + C_K) \Delta T$$

$$\Leftrightarrow C_K = \frac{I \cdot U \cdot \Delta t}{\Delta T} - m_w \cdot c_w \quad (1)$$

$$(m_1 \cdot c_w + C_K)(T_m - T_1) = m_2 \cdot c_w (T_2 - T_m)$$

$$\Leftrightarrow C_K = \frac{m_2 \cdot c_w (T_2 - T_m)}{T_m - T_1} - m_1 \cdot c_w \quad (2)$$

$$t_B = \frac{b_H - b_V}{a_V - a_H} \quad (3)$$

$$t_E = \frac{b_N - b_H}{a_H - a_N} \quad (4)$$

$$t_S = \frac{t_B \cdot \sqrt{a_H - a_V} + t_E \cdot \sqrt{a_H - a_N}}{\sqrt{a_H - a_V} + \sqrt{a_H - a_N}} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Delta T &= (a_N \cdot t_S + b_N) - (a_V \cdot t_S + b_V) \\ \Delta T &= (a_N - a_V) \cdot t_S + (b_N - b_V) \end{aligned} \quad (6)$$

I – Stromstärke

U – Spannung

Δt – Zeitspanne

m_w – Masse Wasser

c_w – spez. Wärmekapazität Wasser

C_K – Wärmekapazität Kalorimeter

ΔT – Temperaturdifferenz

m_1 – Masse kaltes Wasser

T_1 – Temperatur kaltes Wasser

m_2 – Masse warmes Wasser

T_2 – Temperatur warmes Wasser

T_m – Mischungstemperatur

a_N – Anstieg Gerade Nachperiode

a_V – Anstieg Gerade Vorperiode

a_H – Anstieg Gerade Hauptperiode

b_N – Achsenabschnittspunkt NP

b_V – Achsenabschnittspunkt VP

b_H – Achsenabschnittspunkt HP

t_S – Zeit Schnittpunkt Austausch

t_B – Zeit Schnittpunkt B

t_E – Zeit Schnittpunkt E

Für nähere Erläuterungen der Formeln (3) – (6) schaue man ins Script für das Einführungspraktikum S.17 aus dem Netz.

Hierbei ist zu erwähnen, dass die Formel (4) im Script bei a_N einen Fehler aufweist.

3. MESSERGEBNISSE UND AUSWERTUNG

3.1 Elektrische Methode

Die Wärmekapazität des Kalorimeters wird durch die Wärmeaustauschkorrektur berechnet. Dazu führt man eine lineare Regression der Vorperiode und Nachperiode durch und verlängert die entstandenen Geraden. Dasselbe macht man auch bei der Hauptperiode, bei der die Werte in diesem Versuch annähernd eine Gerade bilden.

Nun stellt man den Erwärmungsprozess als „sprunghaften“ Wärmeaustausch dar, indem man eine Senkrechte zieht, die die Geraden der verschiedenen Perioden schneidet und bei der die Flächen der entstandenen Dreiecke gleich groß sind.

Die Zeit vom Schnittpunkt mit der Geraden der Hauptperiode ergibt sich aus der Formel (5). Dazu benötigen wir aber die Zeiten für die Schnittpunkte der Geraden der Hauptperiode mit der Geraden der Vorperiode (3) und mit der Geraden der Nachperiode (4).

Mit der Zeit vom Schnittpunkt der Austauschgeraden mit der Geraden der Hauptperiode kann man nun mit (6) die Temperaturdifferenz berechnen. Zusammen mit den Messwerten muss man nur noch alles in Formel (1) einsetzen und erhält so die Wärmekapazität des Kalorimeters.

Durch die linearen Regressionen wurden folgende Werte für die Berechnung der Temperaturdifferenz gewonnen:

Ergebnisse der linearen Regressionen

Parameter	Korrektur 1	Korrektur 2
a_V	$(0,0003 \pm 0,0011) K/s$	$(0,0005 \pm 0,0011) K/s$
b_V	$(293,6 \pm 0,2) K$	$(294,3 \pm 0,2) K$
a_H	$(0,0579 \pm 0,0004) K/s$	$(0,057 \pm 0,0004) K/s$
b_H	$(279,7 \pm 0,2) K$	$(280,5 \pm 0,2) K$
a_N	$(-0,002 \pm 0,001) K/s$	$(-0,002 \pm 0,001) K/s$
b_N	$(311,8 \pm 0,8) K$	$(312,1 \pm 0,8) K$

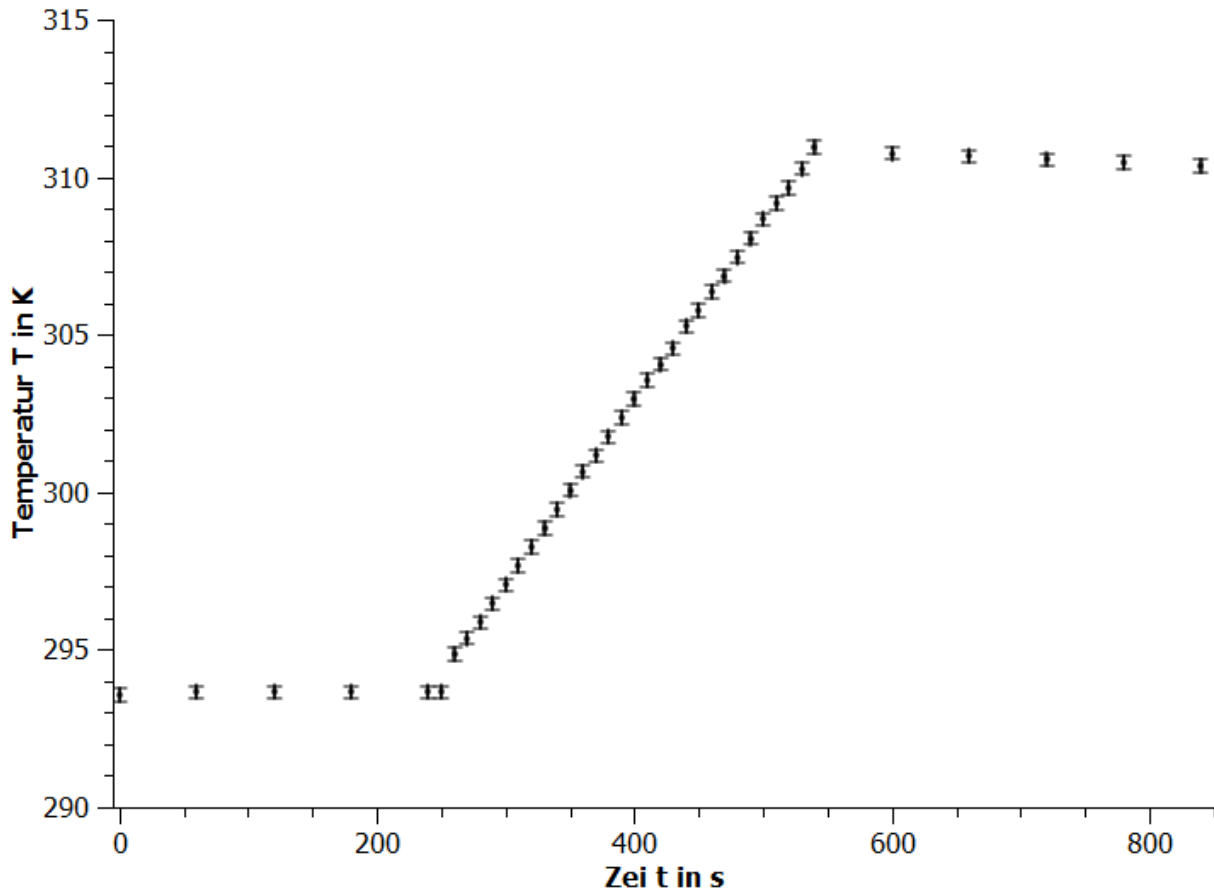
Daraus resultieren folgende Ergebnisse für die Temperaturdifferenz:

Ergebnisse der Berechnungen zur Temperaturdifferenz

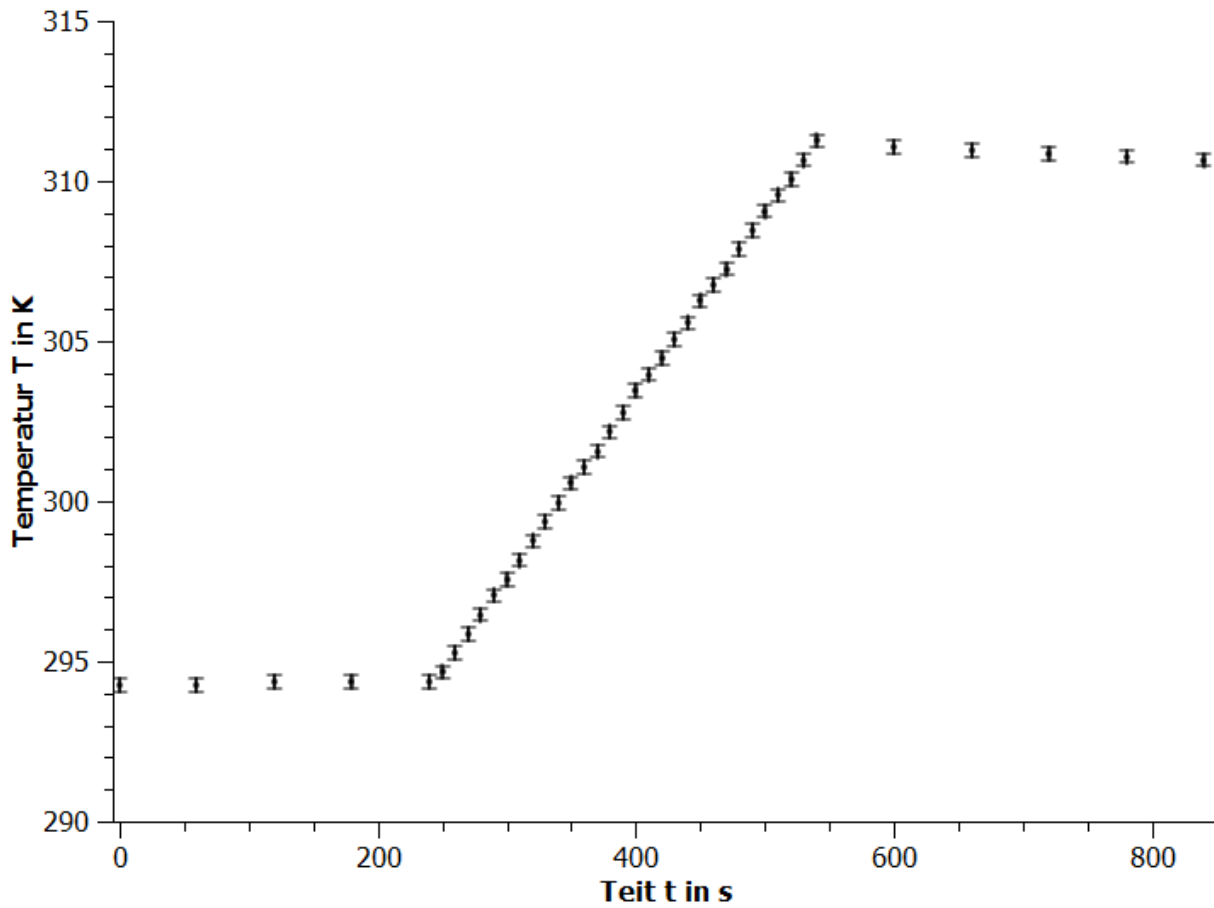
Parameter	Korrektur 1	Korrektur 2
t_B	$(241,3 \pm 6,9) s$	$(244,2 \pm 7,1) s$
t_E	$(535,9 \pm 17) s$	$(535,6 \pm 17) s$
t_S	$(390,1 \pm 9,2) s$	$(391,5 \pm 9,4) s$
ΔT	$(17 \pm 1) K$	$(17 \pm 1) K$

Die Berechnung der Unsicherheiten erfolgte über das Fehlerfortpflanzungsgesetz.

Wärmeaustauschkorrektur 1



Wärmeaustauschkorrektur 2



Für die Berechnung der Wärmekapazität wurden nach dem Messdatenprotokoll noch für die Spannung $U_1=(25\pm 1,2)V$, bzw. $U_2=(25\pm 0,8)V$, für die Stromstärke $I=(3,4\pm 0,1)A$ und für die Zeit $\Delta t=(300\pm 0,2)s$ verwendet.

Somit erhalten wir nach (1) für die Wärmekapazität des Kalorimeters:

$$C_{K,1} = \frac{3,37A \cdot 25V \cdot 300s}{17K} - 1 \frac{g}{cm^3} \cdot 300cm^3 \cdot 4187 \frac{J}{kg \cdot K} \approx 230,7 \frac{J}{K}$$

$$u_{C_{K,1}} = \sqrt{\left(\frac{\partial C_{K,1}}{\partial I} u_I\right)^2 + \left(\frac{\partial C_{K,1}}{\partial U} u_U\right)^2 + \left(\frac{\partial C_{K,1}}{\partial t} u_t\right)^2 + \left(\frac{\partial C_{K,1}}{\partial \Delta T} u_{\Delta T}\right)^2 + \left(\frac{\partial C_{K,1}}{\partial V} u_V\right)^2}$$

$$u_{C_{K,11}} \approx 120 \frac{J}{K} \quad u_{C_{K,12}} \approx 110 \frac{J}{K}$$

$$\underline{\underline{C_{K,11} = (230 \pm 120) \frac{J}{K}}} \quad \underline{\underline{C_{K,12} = (230 \pm 110) \frac{J}{K}}}$$

3.2 Auflistung der Fehler der elektrischen Methode

Die Genauigkeitsangaben zu den Messgeräten wurden bereits in 2. aufgeführt. Nun interessiert uns noch, wie groß die einzelnen Unsicherheiten der Messgrößen sind. Dazu werden die Beträge der systematischen Fehler mit den Beträgen der zufälligen Fehler addiert.

Die zufälligen Fehler werden dabei durch die Größtfehlerabschätzung aus der Ablesegenauigkeit bestimmt. Im Falle der Spannung werden zwei systematische Fehler angegeben, weil zwischen den beiden Versuchen die Skala gewechselt wurde.

Für die Berechnung des systematischen Fehlers der Temperatur wird hier die höchste Temperatur gewählt, um den möglichst größten Fehler anzugeben (ebenso bei der Zeit).

Bei der Berechnung der Wärmekapazität wurde dieser auf Anweisung nicht berücksichtigt.

Messunsicherheiten bei der elektrischen Methode

Parameter	systematischer Fehler	Zufälliger Fehler	Messunsicherheit
I in A	0,05	0,05	0,1
U in V	0,7 / 0,3	0,5	1,2 / 0,8
T in °C	0,04	0,2	0,24
t in s	0,42	0,01	0,43
V in ml	2	1	3

3.3 Mischungsmethode

Bei der Mischungsmethode findet ein Wärmeaustausch zwischen den beiden Wassermengen statt. Mithilfe der Richmannschen Mischungsregel können wir die Wärmekapazität des Kalorimeters berechnen.

Dazu werden folgende Werte in (2) eingesetzt:

Messwerte der Mischungsmethode

Versuch	Temperatur kaltes Wasser T_1 in K	Temperatur warmes Wasser T_2 in K	Mischungstemperatur T_m in K
1	298	312,6	303,7
2	296,1	313	302,8
3	296,5	312,3	302,5

$$C_{K,2} = \frac{0,15\text{kg} \cdot 4187 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (T_2 - T_m)}{T_m - T_1} - 0,15\text{kg} \cdot 4187 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$C_{K,21} \approx 350 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$C_{K,22} \approx 330 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$C_{K,23} \approx 400 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$u_{C_{K,2}} = \sqrt{\left(\frac{\partial C_{K,2}}{\partial V} u_V\right)^2 + \left(\frac{\partial C_{K,2}}{\partial T} u_T\right)^2}$$

$$u_{C_{K,21}} \approx 80 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$u_{C_{K,22}} \approx 70 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$u_{C_{K,23}} \approx 80 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$C_{K,21} = \underline{\underline{(350 \pm 80) \frac{\text{J}}{\text{K}}}}$$

$$C_{K,22} = \underline{\underline{(330 \pm 70) \frac{\text{J}}{\text{K}}}}$$

$$C_{K,23} = \underline{\underline{(400 \pm 80) \frac{\text{J}}{\text{K}}}}$$

3.4 Auflistung der Fehler der Mischungsmethode

Die Genauigkeit der Temperaturmesswerte hängt allein vom Thermometer ab. Es fällt auf, dass die Differenz der verschiedenen Temperaturen so gering ist, dass wir bei allen Messwerten die Unsicherheit von $0,2^{\circ}\text{C}$ erhalten.

Messunsicherheiten bei der Mischungsmethode

Parameter	systematischer Fehler	Zufälliger Fehler	Messunsicherheit
T_{11} in $^{\circ}\text{C}$	0,02	0,2	0,22
T_{12} in $^{\circ}\text{C}$	0,02	0,2	0,22
T_{13} in $^{\circ}\text{C}$	0,02	0,2	0,22
T_{21} in $^{\circ}\text{C}$	0,04	0,2	0,24
T_{22} in $^{\circ}\text{C}$	0,04	0,2	0,24
T_{23} in $^{\circ}\text{C}$	0,04	0,2	0,24
T_{m1} in $^{\circ}\text{C}$	0,03	0,2	0,23
T_{m2} in $^{\circ}\text{C}$	0,03	0,2	0,23
T_{m3} in $^{\circ}\text{C}$	0,03	0,2	0,23
V in ml	2	1	3

4. FEHLERANALYSE UND ERGEBNISEINSCHÄTZUNG

4.1 Auswertung der Ergebnisse

Stellen wir die durchschnittlichen Ergebnisse der elektrischen Methode und der Mischungsmethode für die Wärmekapazität des Kalorimeters gegenüber, erhalten wir ein interessantes Ergebnis.

$$C_{K,1} = (230 \pm 115) \frac{J}{K} \qquad C_{K,2} = (360 \pm 80) \frac{J}{K}$$

Man erkennt anhand der Unsicherheit, dass die Mischungsmethode genauer ist, als die elektrische Methode. Allerdings ist der Wert um einiges größer. Nach Aussage von Dr. Uwe Müller konnten wir einen Wert von 160-170 J/K erwarten. Aber dieser Wert befindet sich nur im Intervall des ersten und ungenaueren Ergebnisses.

Wir können also davon ausgehen, dass das zweite Ergebnis zu groß ist. Dies muss an der Methode selbst liegen. Es kann sein, dass die Messung der Mischungstemperatur nach zu kurzer Zeit stattfand, sodass die Wärme vom Wasser zum Kalorimeter nur zu einem ungenügenden Teil erfolgte.

Dann müsste das Kalorimeter die Eigenschaft einer langsamen Wärmeübertragung besitzen. (Der Wert der Wärmekapazität verringert sich bei kleinerer Differenz zwischen T_2 und T_m oder größerer Differenz zwischen T_m und T_1)

Weiterhin fällt auf, dass die Unsicherheit ziemlich hoch ist (fast 50%). Dies kann mehrere Gründe haben. Zum Einen handelt es sich um ein System, das nicht ausreichend isoliert ist. Während des Erwärmungsprozesses oder der Mischung erfolgt ein Wärmeaustausch mit der Umgebung, der während des Experiments durch ein leicht geöffnetes Fenster und eine sich immer wieder öffnende Tür (es entsteht ein Durchzug) noch verstärkt worden sein kann.

Außerdem wird Wärme sowohl an das Kalorimeter, als auch an den Rührer oder das Thermometer abgegeben. Will man die Qualität des Experiments steigern, so müssten nach jedem Versuch das Wasser und die weiteren Gerätschaften auf eine festgelegte Temperatur gebracht werden, bevor ein neuer Versuch gemacht wird.

Außerdem ist die Wassermenge wegen der Oberflächenspannung nicht genau abmessbar. Vor allem, da ein kleiner Teil des Wassers in den Behältern zurück bleibt.

Dies alles führt zu einer hohen Unsicherheit, die gerade bei der elektrischen Methode größer ist, weil der Wert von mehr Messgrößen über einen längeren Zeitraum abhängt (Stromstärke, Spannung).

Man sollte sich also überlegen, das Experiment besser zu isolieren und die Messwerte vom Computer aufnehmen zu lassen, denn dann entfällt die Reaktionszeit von der Wahrnehmung des Zeitpunkts einer Messung zum Ablesen der Messgröße.