

Inhaltsverzeichnis

Physikalische Grundlagen und Aufgabenstellung	2
Versuchsziel	2
Versuchsbeschreibung	2
Elektrische Methode	2
Mischungsmethode	2
Messwerte	2
Elektrische Methode	2
Vorperiode	2
Hauptperiode	2
Nachperiode	3
Mischungsmethode	3
Auswertung und Präsentation der Messdaten	4
Elektrische Methode	4
Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeter	4
Tabellarische Darstellung der Messunsicherheiten der Messgrößen	5
Messunsicherheiten der Wärmekapazität	6
Mischungsmethode	7
Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeter	7
Tabellarische Darstellung der Messunsicherheiten der Messgrößen	7
Messunsicherheiten der Wärmekapazität	8
Auswertung des Experiments	8
Vergleich der Messmethoden	8
Kritische Bewertung des Versuchs	8
Wassermengen- und Temperaturabhängigkeit von CK	9
Bedeutung des Wasser für das Klima	9
Quellen	9

Physikalische Grundlagen und Aufgabenstellung

Versuchsziel

Kalorimeter werden zur Bestimmung der Wärmemenge bei chemischen, physikalischen oder biologischen Prozessen eingesetzt. Außerdem kann man es zur Bestimmung der Wärmekapazität eines Stoffes nutzen. Es ist für die Messung mit einem Kalorimeter wichtig zu wissen, welche Wärmekapazität das Kalorimeter hat, denn bei der Messung wird ein Teil der Wärme an das Kalorimeter abgegeben. Um dies zu korrigieren nutzt man die Wärmekapazität des Kalorimeters als Korrekturgröße. Rechnerisch ist die Wärmekapazität nur näherungsweise bestimmbar, deswegen ermittelt man diese oft experimentell. Die Wärmekapazität eines Kalorimeters C_K wird durch zwei verschiedene Messmethoden bestimmt. Die Messmethoden sind die elektrische Methode und die Mischungsmethode.

Versuchsbeschreibung

Elektrische Methode

Das Kalorimeter wird mit 300 cm^3 Leitungswasser gefüllt und der Rührer eingeschaltet. Nach der Messung der Vorperiode, wobei fünfmal in Abständen von einer Minute die Wassertemperatur gemessen wird, wird die Heizung eingeschaltet und für fünf Minuten alle zehn Sekunden die Temperatur T_i , die Spannung U und der Strom I gemessen. Zum Schluss wird analog zur Vorperiode die Nachperiode aufgenommen. Der Versuch wird zweimal durchgeführt (Versuch A und B).

Mischungsmethode

Das Kalorimeter wird mit 150 cm^3 Leitungswasser gefüllt, daraufhin wird der Rührer eingeschaltet und die Temperatur T_1 gemessen. Dann werden 150 cm^3 Wasser von $35 - 45 \text{ °C}$ in das Kalorimeter gegossen und die Mischungstemperatur T_m gemessen. Der Versuch wird dreimal durchgeführt.

(Weitere Informationen Quelle 1 S.67 ff.)

Messwerte

Elektrische Methode

Vorperiode

t in s	T_a in °C	T_b in °C	sys. Fehler von t in s	Messunsicherheit von t in s	sys. Fehler von T in °C	Messunsicherheit von T in °C
0	20,0	19,8	0,01	0,40	0,22	0,24
60	20,2	20,0	0,04	0,40	0,22	0,24
120	20,2	20,1	0,07	0,41	0,22	0,24
180	20,2	20,1	0,10	0,41	0,22	0,24
240	20,2	20,3	0,13	0,42	0,22	0,24
300	20,2	20,3	0,16	0,43	0,22	0,24

Tabelle 1

Hauptperiode

Bei beiden Messungen waren die Spannung $U = 24,5 \text{ V}$ und die Stromstärke $I = 3,7 \text{ A}$ im Verlaufe des Versuches konstant.

t in s	T_a in °C	T_b in °C	sys. Fehler von t in s	Messunsicherheit von t in s	sys. Fehler von T in °C	Messunsicherheit von T in °C
0	20,3	20,3	0,01	0,40	0,22	0,24
10	21,4	21,0	0,04	0,40	0,22	0,24
20	22,2	21,7	0,07	0,41	0,22	0,24
30	23,1	22,3	0,10	0,41	0,22	0,24
40	23,7	22,9	0,13	0,42	0,22	0,25
50	24,2	23,8	0,16	0,43	0,22	0,25
60	24,8	24,3	0,19	0,44	0,22	0,25
70	25,6	24,9	0,22	0,46	0,23	0,25
80	26,1	25,7	0,25	0,47	0,23	0,25
90	26,7	26,8	0,28	0,49	0,23	0,25
100	27,4	27,1	0,31	0,51	0,23	0,25
110	28,2	27,5	0,34	0,52	0,23	0,25
120	29,0	28,4	0,37	0,54	0,23	0,25
130	29,3	28,8	0,40	0,57	0,23	0,25
140	30,0	29,6	0,43	0,59	0,23	0,25
150	30,7	30,1	0,46	0,61	0,23	0,25
160	31,3	30,8	0,49	0,63	0,23	0,25
170	32,0	31,5	0,52	0,66	0,23	0,25
180	32,6	32,2	0,55	0,68	0,23	0,25
190	33,3	32,8	0,58	0,70	0,23	0,25
200	34,0	33,4	0,61	0,73	0,23	0,25
210	34,6	34,1	0,64	0,75	0,23	0,26
220	35,2	34,7	0,67	0,78	0,24	0,26
230	35,8	35,3	0,70	0,81	0,24	0,26
240	36,4	35,9	0,73	0,83	0,24	0,26
250	37,0	36,4	0,76	0,86	0,24	0,26
260	37,7	37,3	0,79	0,89	0,24	0,26
270	38,5	37,8	0,82	0,91	0,24	0,26
280	39,0	38,3	0,85	0,94	0,24	0,26
290	39,6	39,0	0,88	0,97	0,24	0,26
300	40,3	39,7	0,91	0,99	0,24	0,26

Tabelle 2

Nachperiode

t in min	T_a in °C	T_b in °C	sys. Fehler von t in s	Messunsicherheit von t in s	sys. Fehler von T in °C	Messunsicherheit von T in °C
0	40,3	39,7	0,01	0,40	0,24	0,26
1	40,1	39,6	0,04	0,40	0,24	0,26
2	39,9	39,4	0,07	0,41	0,24	0,26
3	39,8	39,3	0,10	0,41	0,24	0,26
4	39,6	39,1	0,13	0,42	0,24	0,26
5	39,5	39,0	0,16	0,43	0,24	0,26

Tabelle 3

Mischungsmethode

Messreihe	T_1 in °C	T_2 in °C	T_m in °C
1	21,4	40,3	29,9
2	21,6	39,6	30,1
3	22,5	39,0	30,2

Tabelle 4

Auswertung und Präsentation der Messdaten

Elektrische Methode

Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeters

Zur Berechnung der Wärmekapazität C_K verwende ich die Gleichung (Quelle 1 S.67 Gl.6)

$$IU\Delta t = (m_W c_W + C_K)\Delta T.$$

Daraus folgt:

$$C_K = \frac{IU\Delta t - m_W c_W \Delta T}{\Delta T} \quad (1).$$

Hier sind nun die Messwerte der Hauptperiode einzusetzen, somit ist die Zeitdifferenz

$$\Delta t = t_{\text{Ende}} - t_{\text{Anfang}} = t = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}.$$

Die Spannung $U = 24,5 \text{ V}$ und die Stromstärke $I = 3,7 \text{ A}$ waren während des Versuches konstant, deswegen ist die Mittelwertbildung überflüssig. Die Masse des Wasser m_W berechnet sich aus dem verwendeten

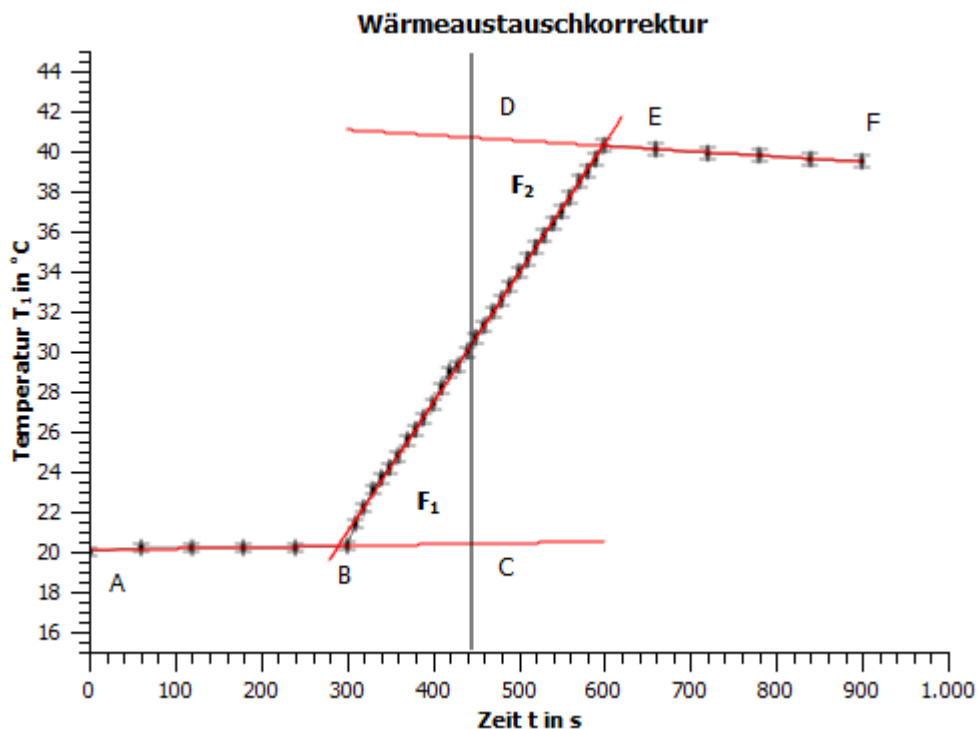
Volumen ($V_W = 300 \text{ cm}^3$) und der Dichte des Wassers bei circa 20°C ($\rho_W = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$):

$$m_W = V_W \rho_W = 300 \text{ g} = 0,3 \text{ kg}.$$

Die spezifische Wärmekapazität $c_W = 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ ist in Quelle 1 Seite 67 angegeben.

Es verbleibt der Wert der Temperaturdifferenz ΔT , dieser ist aus der folgenden grafischen Darstellung zur Wärmeaustauschkorrektur (Quelle 1 S.68 und Quelle 2 S.16 f.) zu entnehmen.

Hier ist dies anhand der Messreihe 1 dargestellt.



Die Temperatur der Kalorimeterflüssigkeit gleicht sich während des Messvorgangs (Hauptperiode B→E) an die Umgebung ab. Dies wird durch Messen einer Vorperiode A→B und Nachperiode E→F angenähert. Es lässt sich zeigen, dass der Gleichgewichtszustand zeitlich exponentiell angenommen wird. Diese beiden Abschnitte können aufgrund der großen Zeitkonstante näherungsweise jeweils durch eine Gerade beschrieben werden. Aufgrund des real zeitlich ausgedehnten Wärmeaustausches mit der Umgebung beobachtet man einen stetigen und differenzierbaren Verlauf der Kurve im Abschnitt B→E. Bei einer sofortigen Wärmeübertragung wäre die Temperaturkurve eine Sprungfunktion.

Den Verlauf der Hauptperiode B→E kann man näherungsweise durch einfache lineare Extrapolation der Vor- bzw. Nachperiode bis zu den Punkten C bzw. D beschreiben, wobei dann im Übergang C→D ein instantaner Wärmeaustausch angenommen wird.

Man kann Vor-, Nach- und Hauptperiode durch lineare Regression fiten. Dies habe ich mit QtiPlot vorgenommen, dabei ist a_i der Anstieg der Periode i und b_i der Achsenabschnitt der Periode i (V, H und N sind die Indizes für Vor-, Haupt- und Nachperiode).

Mit diesem Ansatz erhalte ich für die Zeiten der beiden Schnittpunkte B und E:

$$t_B = \frac{b_H - b_V}{a_V - a_H} \text{ und } t_E = \frac{b_N - b_H}{a_H - a_N}.$$

Nun gilt:

$$F_1 = F_2 = \int_{t_B}^{t_S} (f_H(t) - f_V(t)) dt = \int_{t_S}^{t_E} (f_N(t) - f_H(t)) dt$$

und daraus folgt für die Zeit t_S :

$$t_S = \frac{t_B \cdot \sqrt{a_H - a_V} + t_E \cdot \sqrt{a_H - a_N}}{\sqrt{a_H - a_V} + \sqrt{a_H - a_N}}.$$

Die resultierende Temperaturdifferenz ist dann:

$$\Delta T = f_N(t_S) - f_V(t_S) = (a_N - a_V) \cdot t_S + (b_N - b_V). \quad (2)$$

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse dieser Rechnung aufgeführt.

	Messreihe 1	Messreihe 2
t_B	$t_{B1} = 290,264..s$	$t_{B2} = 297,639..s$
t_E	$t_{E1} = 598,38..s$	$t_{E2} = 598,84..s$
t_S	$t_{S1} = 446,30..s$	$t_{S2} = 450,59..s$
ΔT	$\Delta T_1 = 20,28..K$	$\Delta T_2 = 19,49..s$
C_K	$C_{K1} = 84,77.. \frac{J}{K}$	$C_{K2} = 139,19.. \frac{J}{K}$

Tabelle 5

Tabellarische Darstellung der Messunsicherheiten der Messgrößen

In Tabelle 5 sind die Messunsicherheiten der Messgrößen Spannung, Stromstärke und Volumen aufgeführt.

Die systematischen Fehler stellen sich so zusammen:

- Spannung - Güteklasse des Voltmeters (2),
- Stromstärke - Güteklasse des Amperemeters (2),
- Volumen - 2,0ml bei 20°C,
- Zeit - 1 Digit und 0,05% vom Messwert;

und die zufälligen Fehler sind jeweils die halben Skalen mit Ausnahme der Zeitmessung, denn da ist der zufällige Fehler die Reaktionszeit des Experimentators.

Die Reaktionszeit wird auf 0,4s abgeschätzt, denn bei erwarteten Ereignissen liegt diese zwischen 0,2s bis 0,4s. Hier ist der größte Wert zu nehmen, denn somit kann außerdem die Zeit abgeschätzt werden, die vergeht während man die Temperatur misst.

Die Messunsicherheit ergibt sich durch pythagoreische Addition bei der Spannung und der Stromstärke, bei dem Volumen ist hingegen die Größtfehlerabschätzung nötig, da wir den Messbecher zweimal verwenden mussten um $300cm^3$ zu messen.

Messgröße	systematischer Fehler	zufälliger Fehler	Messunsicherheit
Spannung U in V	0,325	0,25	0,41
Stromstärke I in A	0,05	0,025	0,06
Volumen V in cm^3	2	1	3
Zeit t in s	0,16	0,4	0,43

Tabelle 6

Die Messungenauigkeit der Temperatur ist abhängig vom Messwert, daher sind die Unsicherheiten zu den verschiedenen Perioden in den Messwerttabellen zu finden (Tabelle 1-3). Dabei ist der systematische Fehler 0,1% vom Messwert und zusätzlich 2 Digits und der zufällige Fehler 1 Digit.

Aufgrund der geringen Abweichung der Messwerte zwischen den beiden Versuchen ist der systematische Fehler und die Messunsicherheit ausreichend genug gleich.

Dieser Fehler ist jedoch nur wichtig für das Fitten bei der Wärmeaustauschkorrektur. Denn da gehen die Fehler mit in die lineare Regression ein. Sie sind in der Abbildung als Fehlerkreuze dargestellt.

Es wird die Messunsicherheit der Temperaturdifferenz aus der Wärmeaustauschkorrektur mithilfe der Fehlerfortpflanzung berechnet. Die Symbole u_i sind die Messunsicherheiten der Größe i .

Es gilt:

$$u_{t_B} = \sqrt{\left(\frac{u_{b_H}}{a_V - a_H}\right)^2 + \left(\frac{-u_{b_V}}{a_V - a_H}\right)^2 + \left(\frac{b_V - b_H}{(a_V - a_H)^2} u_{a_V}\right)^2 + \left(\frac{b_H - b_V}{(a_V - a_H)^2} u_{a_H}\right)^2}$$

und

$$u_{t_E} = \sqrt{\left(\frac{u_{b_N}}{a_H - a_N}\right)^2 + \left(\frac{-u_{b_H}}{a_H - a_N}\right)^2 + \left(\frac{b_H - b_N}{(a_H - a_N)^2} u_{a_H}\right)^2 + \left(\frac{b_N - b_H}{(a_H - a_N)^2} u_{a_N}\right)^2}.$$

Für die Schnittzeit ergibt sich:

$$u_{t_S} = \sqrt{\left(\frac{u_{t_B} \cdot \sqrt{a_H - a_V}}{\sqrt{a_H - a_V} + \sqrt{a_H - a_N}}\right)^2 + \left(\frac{u_{t_E} \cdot \sqrt{a_H - a_N}}{\sqrt{a_H - a_V} + \sqrt{a_H - a_N}}\right)^2 + \left(\left(-t_B + \frac{t_B \cdot \sqrt{a_H - a_V} + t_E \cdot \sqrt{a_H - a_N}}{\sqrt{a_H - a_V} + \sqrt{a_H - a_N}}\right) \frac{u_{a_V}}{2 \cdot \sqrt{a_H - a_V} \cdot (\sqrt{a_H - a_V} + \sqrt{a_H - a_N})}\right)^2 + \left(\left(-t_E + \frac{t_B \cdot \sqrt{a_H - a_V} + t_E \cdot \sqrt{a_H - a_N}}{\sqrt{a_H - a_V} + \sqrt{a_H - a_N}}\right) \frac{u_{a_N}}{2 \cdot \sqrt{a_H - a_N} \cdot (\sqrt{a_H - a_V} + \sqrt{a_H - a_N})}\right)^2 + \left(\frac{\left(\frac{t_B}{2 \cdot \sqrt{a_H - a_V}} + \frac{t_E}{2 \cdot \sqrt{a_H - a_N}}\right) \cdot (t_B \cdot \sqrt{a_H - a_V} + t_E \cdot \sqrt{a_H - a_N}) \left(\frac{1}{2 \cdot \sqrt{a_H - a_V}} + \frac{1}{2 \cdot \sqrt{a_H - a_N}}\right)}{(\sqrt{a_H - a_V} + \sqrt{a_H - a_N})^2} \frac{u_{a_H}}{\sqrt{a_H - a_V} + \sqrt{a_H - a_N}}\right)^2}.$$

Die Unsicherheit der Temperaturdifferenz ist dann:

$$u_{\Delta T} = \sqrt{(t_S \cdot u_{a_N})^2 + (-t_S \cdot u_{a_V})^2 + ((a_N - a_V) u_{t_S})^2 + (u_{b_N})^2 + (u_{b_V})^2}.$$

Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 7 aufgeführt.

Messunsicherheiten der Wärmekapazität

Nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz gilt:

$$u_{C_K} = \sqrt{\left(\frac{\partial C_K}{\partial I} u_I\right)^2 + \left(\frac{\partial C_K}{\partial U} u_U\right)^2 + \left(\frac{\partial C_K}{\partial t} u_t\right)^2 + \left(\frac{\partial C_K}{\partial m_W} u_{m_W}\right)^2 + \left(\frac{\partial C_K}{\partial T} u_{\Delta T}\right)^2} \quad (3),$$

dabei bedeuten die Symbole u_i die Messunsicherheiten der Messgröße i . Die Messunsicherheit der Masse des Wasser ist gleich der Messunsicherheit des Volumens, denn es gilt:

$$u_m = \sqrt{\left(\frac{\partial m}{\partial V} u_V\right)^2} = u_V.$$

Aus (2) folgt mit (1):

$$u_{C_K} = \sqrt{\left(\frac{U t}{\Delta T} u_I\right)^2 + \left(\frac{I t}{\Delta T} u_U\right)^2 + \left(\frac{U I}{\Delta T} u_t\right)^2 + \left(\frac{-c_W}{\Delta T} u_{m_W}\right)^2 + \left(\frac{I U \Delta t - m_W c_W}{(\Delta T)^2} u_{\Delta T}\right)^2}.$$

Nun bilden wir das gewichtete Mittel der beiden Messreihen und erhalten:

	Messreihe 1	Messreihe 2
$u_{\Delta T}$	$u_{\Delta T_1} = 0,96 \cdot K$	$u_{\Delta T_2} = 0,96 \cdot K$
C_K	$C_{K_1} = 84,77 \cdot \frac{J}{K}$	$C_{K_2} = 139,19 \cdot \frac{J}{K}$
u_{C_K}	$u_{C_{K_1}} = 73,20 \cdot \frac{J}{K}$	$u_{C_{K_2}} = 68,15 \cdot \frac{J}{K}$
Gewichtung ($C = u_{C_{K_3}}^2$)	$p_1 = 1,10$	$p_2 = 1$
$\overline{C_K}$	$\overline{C_K} = \frac{p_1 C_{K_1} + p_2 C_{K_2}}{p_1 + p_2} = 110,04 \cdot \frac{J}{K} \approx 110 \frac{J}{K}$	
$\overline{u_{C_K}}$	$\overline{u_{C_K}} = \frac{\sqrt{(p_1 u_{C_{K_1}})^2 + (p_2 u_{C_{K_2}})^2}}{p_1 + p_2} = 49,88 \cdot \frac{J}{K} \approx 50 \frac{J}{K}$	

Tabelle 7

Das Ergebnis der Mischungsmethode ist demnach:

$$C_K = (110 \pm 50) \frac{J}{K}$$

Mischungsmethode

Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeters

Zur Berechnung der Wärmekapazität C_K verwende ich die Gleichung (Quelle 1 S.68 Gl.7)

$$(m_1 c_W + C_K)(T_m - T_1) = m_2 c_W (T_2 - T_m)$$

Daraus folgt:

$$C_K = m_2 c_W \frac{T_2 - T_m}{T_m - T_1} - m_1 c_W \quad (4)$$

Eine Wärmeaustauschkorrektur muss nicht vorgenommen werden, denn der Wärmeübertrag geschieht instantan. Das heißt, dass direkt nach Hinzuschütten der zweiten Wassermenge sich das Temperaturgleichgewicht einstellt.

Die Massen m_1 und m_2 berechnen sich wie bei der elektrischen Methode gezeigt, somit ist

$m_1 = m_2 = 0,15 \text{ kg}$, da auch bei 40°C die Dichte rund $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ beträgt. Die Temperaturen T_1 , T_2 und T_m sind

Tabelle 4 zu entnehmen. Die spezifische Wärmekapazität $c_W = 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ ist in Quelle 1 Seite 67 angegeben.

Es ergibt sich für die einzelnen Versuche: $C_{K_1} = 140,388 \cdot \frac{J}{K}$; $C_{K_2} = 73,888 \cdot \frac{J}{K}$; $C_{K_3} = 89,721 \cdot \frac{J}{K}$.

Tabellarische Darstellung der Messunsicherheiten der Messgrößen

In Tabelle 7 sind die Messungenauigkeiten der Messgrößen Temperatur und Volumen aufgeführt.

Die systematischen Fehler stellen sich so zusammen:

Temperatur - 2 Digits und 0,1% vom Messwert,

Volumen - 2,0ml bei 20°C ;

und die zufälligen Fehler sind:

Temperatur - 1 Digit,

Volumen - halbe Skala.

Die Messunsicherheit ergibt sich durch pythagoreische Addition.

Messgröße	systematischer Fehler			zufälliger Fehler	Messunsicherheit		
Volumen V in cm^3	2			1	2,24		
	T_1	T_2	T_m		T_1	T_2	T_m
Temperatur T in $^\circ\text{C}$	0,22	0,24	0,23	0,1	0,24	0,26	0,25

Tabelle 8

Auch hier ist aufgrund der geringen Abweichung der Messwerte zwischen den drei Versuchen nur ein Wert für den systematischen Fehler und die Messunsicherheit angegeben.

Messunsicherheiten der Wärmekapazität

Nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz gilt:

$$u_{C_K} = \sqrt{\left(\frac{\partial C_K}{\partial T_2} u_{T_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial C_K}{\partial T_1} u_{T_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial C_K}{\partial T_m} u_{T_m}\right)^2 + \left(\frac{\partial C_K}{\partial m_1} u_{m_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial C_K}{\partial m_2} u_{m_2}\right)^2} \quad (5),$$

dabei gelten die gleiche Vereinbarungen über die Symbole und Messunsicherheit der Massen.

Aus (4) folgt mit (3):

$$u_{C_K} = \sqrt{\left(m_2 c_w \frac{u_{T_2}}{(T_m - T_1)}\right)^2 + \left(m_2 c_w \frac{(T_2 - T_m)}{(T_m - T_1)^2} u_{T_1}\right)^2 + \left(m_2 c_w \frac{(T_1 - T_2)}{(T_m - T_1)^2} u_{T_m}\right)^2 + (c_w u_{m_1})^2 + \left(c_w \frac{(T_2 - T_m)}{(T_m - T_1)} u_{m_2}\right)^2}.$$

Wir erhalten somit drei Ergebnisse für die Wärmekapazität und deren Messunsicherheiten. Daraus bilden wir ein gewichtetes Mittel. Es folgt die tabellarische Darstellung der Berechnung:

	Messreihe 1	Messreihe 2	Messreihe 3
C_K	$C_{K_1} = 140,38 \cdot \frac{J}{K}$	$C_{K_2} = 73,88 \cdot \frac{J}{K}$	$C_{K_3} = 89,72 \cdot \frac{J}{K}$
u_{C_K}	$u_{C_{K_1}} = 52,40 \cdot \frac{J}{K}$	$u_{C_{K_2}} = 49,89 \cdot \frac{J}{K}$	$u_{C_{K_3}} = 55,33 \cdot \frac{J}{K}$
Gewichtung ($C = u_{C_{K_3}}^2$)	$p_1 = 1,11..$	$p_2 = 1,22..$	$p_3 = 1$
$\overline{C_K}$	$\overline{C_K} = \frac{p_1 C_{K_1} + p_2 C_{K_2} + p_3 C_{K_3}}{p_1 + p_2 + p_3} = 100,78 \cdot \frac{J}{K} \approx 100 \frac{J}{K}$		
$\overline{u_{C_K}}$	$\overline{u_{C_K}} = \frac{\sqrt{(p_1 u_{C_{K_1}})^2 + (p_2 u_{C_{K_2}})^2 + (p_3 u_{C_{K_3}})^2}}{p_1 + p_2 + p_3} = 30,25 \cdot \frac{J}{K} \approx 30 \frac{J}{K}$		

Tabelle 9

Das Ergebnis der Mischungsmethode ist demnach:

$$C_K = (100 \pm 30) \frac{J}{K}.$$

Auswertung des Experiments

Vergleich der Messmethoden

Beide Messmethoden ergaben eine Wärmekapazität des Kalorimeters von circa 100 – 110 J/K. Im Vergleich mit dem Fehler liegen diese doch nahe bei einander. Jedoch ist die Mischungsmethode genauer als die elektrische Methode, was anhand der Messunsicherheiten klar wird.

Die Dauer der Mischungsmethode ist kürzer, wodurch bei der elektrischen Methode die Wärmeaustauschkorrektur vorgenommen werden muss, dies bringt einen weiteren Fehler, welcher schon aufgrund der Tatsache, dass mehr Messwerte aufgenommen werden mussten, größer ist.

Die Mischungsmethode ist demnach meiner Meinung nach effektiver und präziser.

Kritische Bewertung des Versuchs

Bei diesem Versuch gibt es einige Sachen, die schwer in die Berechnung mit einbezogen werden können. Das Kalorimeter speichert zum Beispiel zwischen den Messreihen und Methoden etwas Wärme. Das führt zu verschiedenen Anfangsbedingungen. Zudem wird Wärme während des Versuches an die Umgebung durch die Öffnung, in der das Temperaturmessgerät steckt, abgegeben.

Das Wasser im Kalorimeter wird zusätzlich auch durch den Mischer erwärmt, da dessen Bewegungsenergie in Wärme umgewandelt wird. Dies ist jedoch vernachlässigbar klein im Gegensatz dazu, dass der Mischer zu klein ist um eine homogene Wärmeverteilung im Wasser herzustellen. Dadurch ist das Wasser direkt am Heizstab wärmer als zum Beispiel an der Kalorimeterwand. Teilweise waren auch Temperaturschwankungen von circa $\pm 0,2K$ während eines sehr kleinen Zeitraums zu verzeichnen, was ein Indiz für die inhomogene Wärmeverteilung sein kann.

Bei Temperaturmessung ist auch immer die Umgebungstemperatur wichtig. Diese schwankte im Verlauf des Versuches um $\pm 2\text{K}$, was damit zu begründen ist, dass kurzzeitig das Fenster auf war. Dies ist eindeutig eine zu vermeidende Ungenauigkeit.

Die Oberflächenspannung des Wassers sorgt dafür, dass die Messung des Volumens unsicher wird. Die Wassermassenbestimmung hätte am besten durch Wiegen des Kalorimeters vor und nach seiner Befüllung erfolgen sollen. So werden Messfehler, z.B. durch zurückgebliebene Wassertropfen in anderen Gefäßen, vermieden. Außerdem ist mit der verwendeten Dichte von Wasser ρ_W nur mit einem gerundeten Wert gerechnet worden. Die Dichte ist von vielen Faktoren beeinflusst. Dazu gehört der Gehalt an Mineralien und eben auch die Temperatur, die besonders bei der Mischungsmethode deutlich verschieden von 20°C war.

Wassermengen- und Temperaturabhängigkeit von C_K

Die Wahl von Wasser ist sinnvoll, denn Wasser hat eine hohe Wärmekapazität welche dabei im gewählten Temperaturbereich näherungsweise konstant ist. Deswegen ist der Versuch auch temperaturabhängig, weil das Wasser nur im Bereich von 0°C bis 100°C eine konstante Wärmekapazität hat. Schon bei -2°C ist diese fast halb so groß. Die Wassermenge ist durch das Kalorimetergefäß limitiert.

Die Wärmekapazität gibt an wie viel Wärme einem Körper zugeführt werden muss um diesen um 1K zu erwärmen. An der Gleichung $\Delta Q = C_K \cdot \Delta T$ sieht man leicht warum C_K temperaturabhängig ist. ΔQ ist die Wärmemenge, die an das Kalorimeter abgegeben wird. Bei konstanten Wärmeübertrag ist die Temperaturdifferenz antiproportional zur Wärmekapazität ($C_K \sim \frac{1}{\Delta T}$).

Bedeutung des Wasser für das Klima

Die große spezifische Wärmekapazität von Wasser hat eine wichtige Bedeutung für das Klima unserer Erde. Die Ozeane, die ca. 70% der Erdoberfläche einnehmen, speichern die Sonnenenergie. Durch regional unterschiedliche Erwärmung kommt es zu globalen Meeresströmungen. Diese befördern große Energiemengen. Beispiele dazu sind der Golfstrom und äquatorialer Strom. Es würde ohne den Golfstrom in Mitteleuropa arktisches Klima herrschen.

Die Wärmekapazität des Wassers und die Phänomene der Verdunstungskälte und latenten Wärme sorgen in der Nähe von großen Gewässern für ein gemäßigtes Klima mit geringen Temperaturschwankungen im Jahres- und Tagesgang. Wolken verringern zudem die Einstrahlung durch die Sonne und die Erwärmung der Erdoberfläche durch Reflexion (vgl. Quelle 3).

Quellen

- 1- Skript: „Physikalisches Grundpraktikum: Mechanik und Thermodynamik 2005“, Humboldt Universität zu Berlin
- 2- Skript: „Physikalisches Grundpraktikum: Mechanik Einführungspraktikum 2007“, Humboldt Universität zu Berlin
- 3- <http://de.wikipedia.org/wiki/Wasser#Klima>