

Physiklabor für Anfänger*innen
Ferienpraktikum im Sommersemester 2018

Versuch 38: Spezifische Wärmekapazität von Wasser

(durchgeführt am 10.09.2018 bei Nico Strauß)
Ye Joon Kim, Marouan Zouari
19. September 2018

1 Einleitung

Die Erhaltung der Energie impliziert, dass die Energie in andere Formen umgewandelt werden können. Insbesondere können mechanische und elektrische Energie sich in thermische Energie umwandeln. Mit dieser Eigenschaft lässt sich die Wärmekapazität von Wasser bestimmt werden. Mit Reibung können mechanische Arbeit in Wärme umgewandelt werden. Mit einem Schürholz-Apparat kann das anschaulich gemacht werden. Das Stromwärmegesetz besagt, dass die von einem Widerstand abgegebene Wärme proportional zur Spannung und Strom ist. Dadurch lässt sich elektrische Energie in Wärme umwandeln.

2 Ziel des Versuchs

Das Ziel dieses Versuchs ist es, die spezifische Wärmekapazität von Wasser auf mechanische und elektrische Weise zu bestimmen (nämlich mit einem Schurholz-Apparat und einem Widerstand).

3 Aufbau

Abbildungen auf nächste Seite .

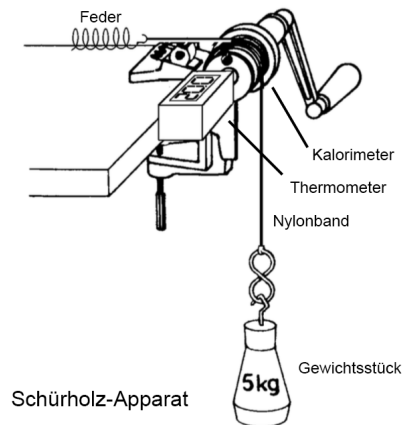


Abbildung 1: Schürholz-Apparat: Versuchsaufbau zur Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität von Wasser auf mechanischem Weg.

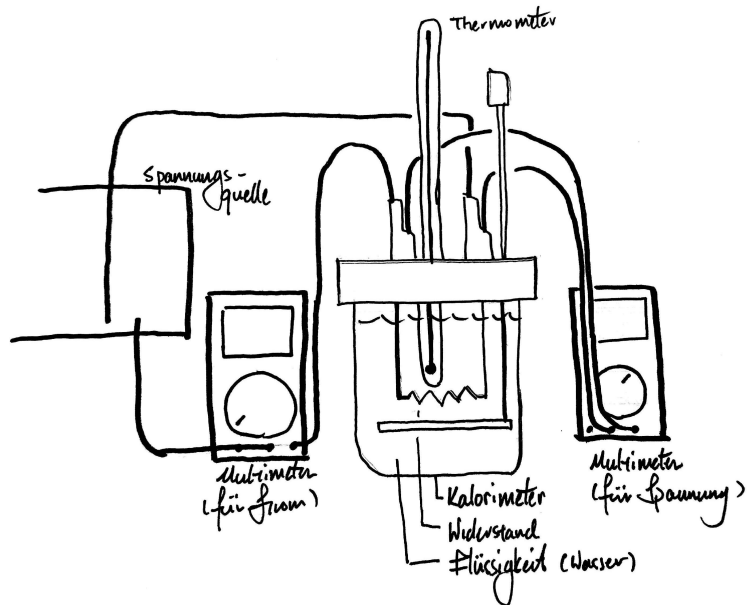


Abbildung 2: Versuchsaufbau zur Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität von Wasser auf elektrischem Weg.

4 Auswertung und Fehlerrechnung

Rohe Daten sind in dem Anhang zu finden.

4.1 1. Versuchsteil: Mechanische Bestimmung der Wärmekapazität.

Für die Bestimmung der Wärmekapazität wird die folgende Formel benutzt:

$$(\Gamma_{\text{Kal}} + \Gamma_{\text{T}} + m_{\text{W}}c_{\text{W}})\Delta T = mgn\pi d \quad (1)$$

wobei:

- Γ_{Kal} Die Wärmekapazität des leeren Kalorimeters
- Γ_{T} Die Wärmekapazität der Thermoelemententhalterung und des Nylonbands
- m_{W} Die Masse des Wassers
- c_{W} Die spezifische Wärmekapazität des Wassers
- ΔT die Temperaturunterschied
- m die Masse des Massestücks
- g die Fallbeschleunigung
- n die Anzahl Drehungen
- d der Durchmesser des Kalorimeters sind

Die Formel kann umgeformt werden, um einen Ausdruck für c_{W} zu liefern:

$$c_{\text{W}} = \frac{\frac{mgn\pi d}{\Delta T} - \Gamma_{\text{Kal}} - \Gamma_{\text{T}}}{m_{\text{W}}} \quad (2)$$

Es wurden vier Messungen durchgeführt. Die von den Einzelmessungen gewonnenen Werte für die spezifische Wärmekapazität und deren Unsicherheiten sind:

Messreihe	c_W J/kg K	$\Delta(c_W)$ J/kg K
1	$5,44298 \cdot 10^3$	$2,02625 \cdot 10^3$
2	$5,8 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$
3	$6,2 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$
4	$6,2 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$

Tabelle 1: Die berechneten Werte für c_W und deren Unsicherheiten

Beispielrechnungen (Mit ersten Datenpunkten)

Einfaches Einsetzen der Werte in Gleichung (2) liefert die jeweilige spezifische Wärmekapazitäten.

$$\begin{aligned}
 c_W &= \frac{\frac{mgn\pi d}{\Delta T} - \Gamma_{\text{Kal}} - \Gamma_{\text{T}}}{m_W} \\
 &= \frac{\frac{5\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 \cdot 50 \cdot \pi \cdot 0,0472\text{m}}{0,9^\circ\text{C}} - (380\text{J/kg K} \cdot 0,098\text{kg}) - 5\text{J/K}}{0,066\text{kg}} \\
 &= 5442,98\text{J/kg K}
 \end{aligned}$$

Und für die Fehlerrechnungen werden die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung benutzt. Mit:

$$f(n, d, \Delta T, m_W) = \frac{\frac{mgn\pi d}{\Delta T} - \Gamma_{\text{Kal}} - \Gamma_{\text{T}}}{m_W}$$

sind:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial f}{\partial n} &= \frac{mg\pi d}{\Delta T m_W} \\
 \frac{\partial f}{\partial d} &= \frac{mgn\pi}{\Delta T m_W} \\
 \frac{\partial f}{\partial \Delta T} &= -\frac{(mgn\pi d)}{m_W} \frac{1}{\Delta T^2} \\
 \frac{\partial f}{\partial m_W} &= -\left(\frac{mgn\pi d}{\Delta T} - \Gamma_{\text{Kal}} - \Gamma_{\text{T}}\right) \frac{1}{m_W^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta c_W &= \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial n} \Delta n\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial d} \Delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \Delta T} \Delta(\Delta T)\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial m_W} \Delta m_W\right)^2} \\
 &= 2026,25 \text{ J/kg K}
 \end{aligned}$$

Der Mittelwert der Werte und seine Standardunsicherheit lauten:

$$(5900 \pm 400) \text{ J/kg K}$$

Die Standardunsicherheit wurde mit der Formel:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

berechnet.

5 2. Versuchsteil

Für die elektrische Methode muss die von dem Widerstand abgestrahlten Energie bestimmt werden. Das kann mit der folgenden Formel bestimmt werden:

$$W = Q = \int P dt$$

Weil P als Konstant genommen ist, werden wir die folgende Relation haben :

$$W = Q = UI\Delta t$$

Messreihe	Δt s	$\Delta(\Delta t)$ s	Q J	ΔQ J
1	150	2	8900	100
2	210	2	10200	100
3	360	2	17600	100

Tabelle 2: Bestimmung von Q durch verschiedene Zeitintervallen und deren Unsicherheiten.

Für die Berechnung der Unsicherheiten von Q wurde die vereinfachte Formel für Produkte und Quotienten benutzt, und für die von Δt die Formel für Summe.

Zur Bestimmung der T_{End} , die maximale Temperatur ohne Verlust und Verzögerungseffekte, wurde das Extrapolationsverfahren benutzt. Nur die Datenpunkten von der Abfallphase wurden genommen und in einem Excel Dokument, das die lineare Regression automatisch berechnet, eingesetzt. Die berechneten Werte für a und b, Achsenabschnitt und Steigung, sind:

mit dem Einsetzen der Werte für $\frac{t_1+t_2}{2}$ in den jeweiligen linearen Gleichung lassen sich die Werte für T_{max} bestimmen.

Messreihe	a ° C	u_a ° C	b ° C / s	u_b ° C / s
1	37,05	2,4	-0,0035	0,0029
2	37,70	0,068	-0,00096	0,00009
3	52,18	0,22	-0,0031	0,0004

Tabelle 3: Bestimmung von a , b und deren Unsicherheiten.

Messreihe	$\frac{t_1+t_2}{2}$ s	$\Delta(\frac{t_1+t_2}{2})$ s	T_{\max} ° C	$u_{T_{\max}}$ ° C
1	75	1	37	3
2	105	1	37,5	0,1
3	180	1	51,4	0,3

Tabelle 4: Bestimmung von $\Delta(\frac{t_1+t_2}{2})$, T_{\max} und deren Unsicherheiten.

Beispielrechnungen (Mit ersten Datenpunkten)

Für die Bestimmung der Unsicherheiten von T_{\max} wurde die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung benutzt. Mit:

$$f(a, b, t) = a + bt$$

sind:

$$\frac{\partial f}{\partial a} = 1$$

$$\frac{\partial f}{\partial b} = t$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = b$$

und

$$\begin{aligned}
 u_{T_{\max}} &= \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a} u_a\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b} u_b\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial t} u_t\right)^2} \\
 &= 2,69^\circ \text{C}
 \end{aligned}$$

Mit den Werten können die Temperaturdifferenz bestimmt werden und dann die Werte für c_W . Die Werte für c_W lassen sich mit der folgenden Formel bestimmen

$$c = \frac{Q}{(\Delta T)m}$$

Die Unsicherheiten wurden wiederum mit der Formel für Produkte und Quotienten benutzt.

Messreihe	c_W J/kg K	Δc_W J/kg K
1	4180	80
2	4920	80
3	5100	50

Tabelle 5: Bestimmung von c_W und ihre Unsicherheiten .

Der Mittelwert und seine Unsicherheit (mit Formel (3)) lauten:

$$(4740 \pm 490) \text{ J/kg K}$$

6 Diskussion der Ergebnisse

Vergleich zwischen die gefundene bei der beiden Messmethoden Werten und der Literaturwert :

Die mit der mechanischen Methode bestimmte spezifische Wärmekapazität ist:

$$c_{W.elk} = (4740 \pm 490) \text{ J/kg K}$$

Die Literaturwert der spezifischen Wärmekapazität von Wasser ist:

$$c_{W.lite} = 4182 \text{ J/kg K}$$

(Demtroder). Der Unterschied zwischen dem wahren Wert und dem gemessenen Wert ist

$$(c_{W.elk} - c_{W.lite}) = 558 \text{ J/kg K}$$

was kleiner als die Fehlerspanne von $c_{W.elk}$ ist. Deshalb stimmen die beiden Werte überein.

Die mit der mechanischen Methode bestimmte spezifische Wärmekapazität, $c_{W.mech}$, ist: die

$$(5900 \pm 400) \text{ J/kg K}$$

ist , ist

$$(c_{W.mech} - c_{W.lite}) = 1718 \text{ J/kg K}$$

Da

$$(c_{W.mech} - c_{W.lite}) > \Delta(c_{W.mech})$$

stimmen die beiden Werte in diesem Fall nicht überein. Mögliche Gründe dafür sind die in dem folgenden Unterkapitel erläuterten statistischen und systematischem Fehler.

Es ist auch leicht bemerkbar, dass $c_{W.mech}$ und $c_{W.elk}$ nicht im Rahmen ihrer Unsicherheiten miteinander verträglich sind, weil $(c_{W.mech} - c_{W.elk})$ größer ist als beide entsprechende Unsicherheiten (Standardabweichungen).

Mögliche systematische und statistische Fehler bei beiden Messmethoden:

Wegen des schlechten Kontakts zwischen dem Thermometer und dem Kupferkalorimeter können die gemessenen Temperaturen nicht genau die wirkliche Temperatur des Wassers entsprechen, dadurch entsteht ein statistischer Fehler.

Außerdem, wenn der Apparat mit einer nicht gleichmäßigen Geschwindigkeit gekurbelt wird, gleichen F_R und F_G sich nicht immer aus. Dann spiegelt die Formel:

$$m \cdot g \cdot n \cdot \pi \cdot d$$

die wirkliche Arbeit der Reibungskraft nicht wider. Dies führt zu anderen statistischen Unsicherheiten bei den Werten von Q .

Die Masse des Gewichtsstücks hat selbst auch eine Unsicherheit. Wenn die wirkliche Masse mehr oder weniger als 5 kg ist, wären alle gemessenen Werte von c_W größer oder kleiner als der reelle Wert. Das ist ein möglicher systematischer Fehler.

Bei der Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität auf dem elektrischen Weg haben wir angenommen, dass P konstant im Laufe der Zeit ist. In der Realität ist das eine Annäherung. Deswegen ist der Wert von c_W , der sich mit der Formel $P = U \cdot I \cdot \Delta t$ rechnen lässt, auch eine Annäherung und damit ein systematischer Fehler.

7 Literatur

Demtröder, Experimentalphysik 1, <http://www.redi-bw.de/start/unifr/EBooks-springer/10.1007/978-3-662-54847-9>, Kapitel 10

"Versuchseinleitungen zum Physikkolabor für Anfänger*innen, Teil 1. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg: 2018.

8 Anhang

Da die einzelnen Tabellen zu lang waren, siehe Extrablätter für die Rohdaten.