

Protokollant: Name ☒

Kurs: Anfängerpraktikum 2

Zusammenarbeit<sup>1</sup> mit: Name ☐

Assistent: Name

Datum: 15. März 2021

Versuch-Nr.: 7

Ab **HIER** vom Assistenten auszufüllen:



Eingangsstempel:

Rückgabedatum: \_\_\_\_\_

Bemerkungen:

☐ Protokoll OK

☐ Protokoll **nicht** OK

2. Abgabedatum: \_\_\_\_\_

Rückgabedatum: \_\_\_\_\_

Bemerkungen:

☐ Protokoll OK

☐ Protokoll **nicht** OK

3. Abgabedatum: \_\_\_\_\_

Rückgabedatum: \_\_\_\_\_

Bemerkungen:

☐ Protokoll OK

☐ Protokoll **nicht** OK

☐ Versuch bestanden

☐ Versuch **NICHT BESTANDEN**

Unterschrift Assistent: \_\_\_\_\_

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Aufgabenstellung</b>	<b>2</b>
1.1 Physikalischer Hintergrund . . . . .	2
<b>2 Messmethoden</b>	<b>3</b>
2.1 Versuchsaufbau . . . . .	3
2.2 Schaltpläne . . . . .	3
<b>3 Versuchsdurchführung</b>	<b>3</b>
<b>4 Versuchsergebnisse</b>	<b>4</b>
4.1 Diskussion der Messergebnisse . . . . .	6
<b>5 Fazit</b>	<b>7</b>

## 1 Aufgabenstellung

Der Versuch 7 „Umwandlung von elektrischer Energie in Wärmeenergie“ behandelt das Ermitteln der spezifischen Wärmekapazität von Stoffen. Genauer soll es um die Berechnung der spezifischen Wärmekapazität von Wasser gehen.

### 1.1 Physikalischer Hintergrund

Die **spezifische Wärmeenergie**  $c$  ist eine Stoffeigenschaft, die die Fähigkeit des Stoffes bemisst, Wärmeenergie zu speichern.

Wir können die Wärmeenergie dabei über die folgende Formel bestimmen:

$$Q = C \cdot (T_{\text{Ende}} - T_{\text{Anfang}}) \quad (1)$$

Dabei bezeichnet  $C$  die Wärmekapazität,  $Q$  die zugeführte Wärmeenergie und  $T_{\text{Ende}}$  sowie  $T_{\text{Anfang}}$  die Anfangs- und Endtemperatur. Die zugeführte Wärmeenergie kann dabei durch gut messbare Größen bestimmt werden:

$$Q = U \cdot I \cdot t \quad (2)$$

Die spezifische Wärmekapazität kann darüber hinaus über die Masse berechnet werden.

$$c = \frac{C}{M} \quad (3)$$

In diesem Versuch benötigen wir für das Wasser auch ein Behältnis (Kalorimeter), wodurch jedoch ein Fehler entsteht, der herausgerechnet werden muss. Dies können wir über die Gesamtwärmekapazität und den Wasserwert erreichen.

$$C = C_{H_2O} + C_{Kal} \quad (4)$$

$$W = \frac{C_{Kal}}{c_{H_2O}} \quad (5)$$

Hierbei gibt der Wasserwert an, wie viel Wasser unser Behälter ersetzt - wir berechnen also die Äquivalente Masse an Wasser für das Kalorimeter.

Durch Zusammenführen der bisherigen Formeln ergibt sich für die spezifische Wärmeenergie:

$$c_{H_2O} = \frac{U \cdot I \cdot t}{(M + W) \cdot (T_{\text{Ende}} - T_{\text{Anfang}})} \quad (6)$$

Den Wasserwert können wir dabei über die Mischtemperatur von warmen und kaltem Wasser bestimmen.

$$C_{Kal} \cdot (T_3 - T_1) = c_{H_2O} \cdot m \cdot (T_2 - T_3) \quad (7)$$

Mit Gleichung 5 folgt dann für den Wasserwert  $W$ :

$$W = m \cdot \frac{(T_2 - T_3)}{(T_3 - T_1)} \quad (8)$$

## 2 Messmethoden

Bei diesem Versuch nutzen wir ein Kalorimeter, um die spezifische Wärmekapazität des Wassers festzustellen. Dafür müssen wir jedoch zunächst den **Wasserwert** des Kalorimeters bestimmen.

### 2.1 Versuchsaufbau

Für diesen Versuch benötigen wir folgende Materialien:

- Ein Kalorimeter
- Ein Thermometer zum Messen der Temperatur des Wassers
- Eine Spannungsquelle
- Ein Volt- und ein Amperemeter (bzw. zwei Multimeter) zur Messung von Strom und Spannung
- Ein Schiebepotentiometer zum Regulieren und Variieren der Spannung

### 2.2 Schaltpläne

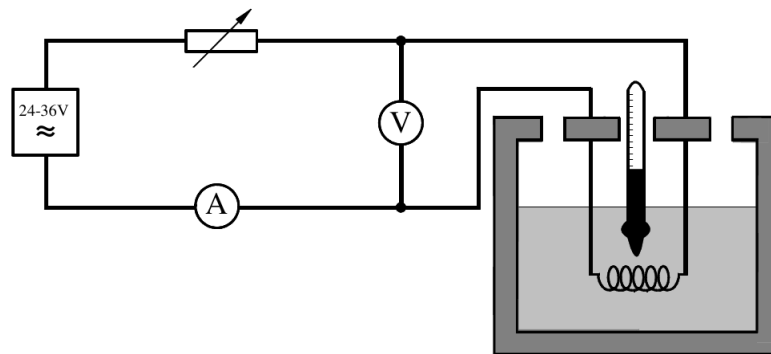


Abbildung 1: Schaltbild zum Aufbau des Versuches.

Der Schaltplan zeigt den Aufbau für die Messung zur spezifischen Wärmekapazität. Für die vorausgehenden Messungen zur Bestimmung des Wasserwertes des Kalorimeters benötigt es lediglich das Kalorimeter, Thermometers und Wasser.

## 3 Versuchsdurchführung

Wir beginnen mit der Bestimmung des Wasserwertes des Kalorimeters. Wir führen fünf *Leermessungen* am Kalorimeter durch (im Folgenden als „Reihe“ bezeichnet). Dazu nehmen wir das Kalorimeter und Thermometer und bauen diese wie im Schaltplan auf (den Rest nicht). Anschließend füllen wir 100ml kaltes Wasser in das Kalorimeter und warten, bis Wasser und Kalorimeter die gleiche Temperatur haben (Dies ist  $T_1$ ). Diese messen und notieren wir. Danach entleeren wir das Kalorimeter und füllen es mit 100ml heißem Wasser ( $T_2$ ). Während des Abkühlprozesses notieren wir dann die Zeit, die vergangen ist, wenn sich das Wasser um je  $0.1^\circ\text{C}$  abgekühlt hat. Anhand dieser Messdaten können wir die Mischtemperatur ( $T_3$ ) bestimmen (dies ist der Punkt, an dem die Temperatur langsamer abzufallen beginnt).

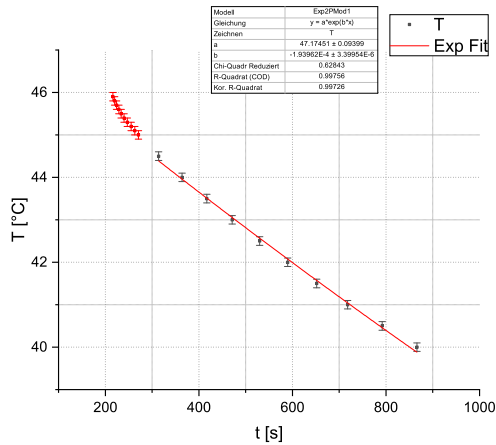
Nachdem wir nun den Wasserwert kennen, können wir die spezifische Wärmeenergie des Wasser bestimmen und die Schaltung nach dem Schaltplan aufbauen. Wir füllen wieder 100ml kaltes Wasser in das Kalorimeter. Anschließend schalten wir den Strom ein und erwärmen das Wasser auf eine vorher bestimmte Endtemperatur. Dies führen wir drei mal durch und notieren uns jedes mal Spannung, Stromstärke und Erwärmungszeit.

## 4 Versuchsergebnisse

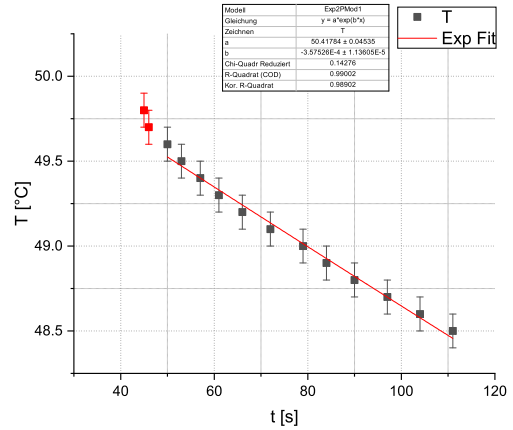
(a) Reihe 1.		(b) Reihe 2.		(c) Reihe 3.		(d) Reihe 4.		(e) Reihe 5.	
$T_1(^{\circ}C)$	18.9	$T_1(^{\circ}C)$	19.6	$T_1(^{\circ}C)$	19.4	$T_1(^{\circ}C)$	19.6	$T_1(^{\circ}C)$	20.9
$T_2(^{\circ}C)$	49.5	$T_2(^{\circ}C)$	53.2	$T_2(^{\circ}C)$	54.4	$T_2(^{\circ}C)$	65.4	$T_2(^{\circ}C)$	60.4
$t(s)$	$T(^{\circ}C)$	$t(s)$	$T(^{\circ}C)$	$t(s)$	$T(^{\circ}C)$	$t(s)$	$T(^{\circ}C)$	$t(s)$	$T(^{\circ}C)$
216	45.9	45	49.8	36	50.3	35	60	55	55.6
220	45.8	46	49.7	37	50.2	39	59.9	59	55.5
224	45.7	50	49.6	39	50.1	41	59.8	61	55.4
229	45.6	53	49.5	42	50	43	59.7	64	55.3
234	45.5	57	49.4	46	49.9	45	59.6	67	55.2
240	45.4	61	49.3	51	49.8	47	59.5	70	55.1
247	45.3	66	49.2	56	49.7	50	59.4	73	55
255	45.2	72	49.1	61	49.6	53	59.3	77	54.9
263	45.1	79	49	67	49.5	55	59.2	80	54.8
271	45	84	48.9	73	49.4	58	59.1	85	54.7
314	44.5	90	48.8			61	59	89	54.6
364	44	97	48.7			64	58.9	94	54.5
417	43.5	104	48.6			67	58.8	98	54.4
471	43	111	48.5			70	58.7	102	54.3
530	42.5					74	58.6	108	54.2
590	42					78	58.5	113	54.1
652	41.5					82	58.4	117	54
718	41					85	58.3		
792	40.5					89	58.2		
866	40					93	58.1		

Tabelle 1: Messergebnisse zur Berechnung des Wasserwertes.

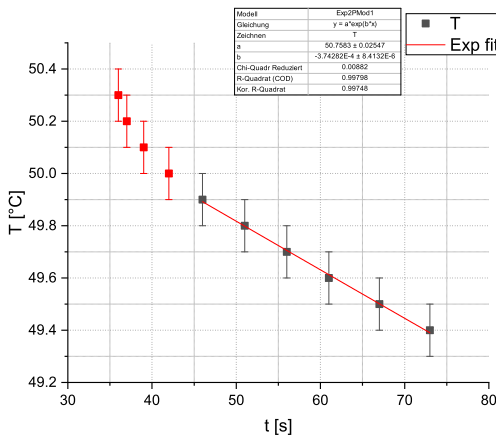
*Hinweis:* Der absolute Fehler der Temperaturen ist für alle Einträge mit  $\Delta T = 0.1^{\circ}C$  angegeben.



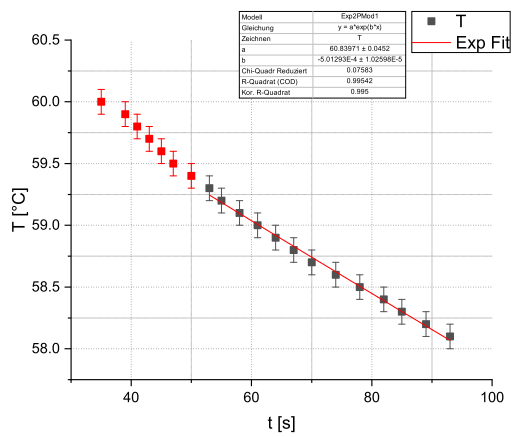
(a) Graphische Darstellung der Ergebnisse von Reihe 1.



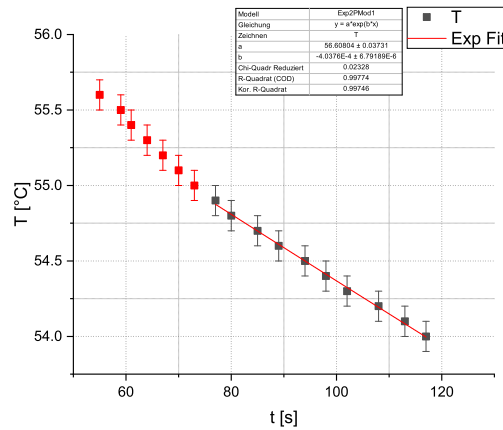
(b) Graphische Darstellung der Ergebnisse von Reihe 2.



(c) Graphische Darstellung der Ergebnisse von Reihe 3.



(d) Graphische Darstellung der Ergebnisse von Reihe 4.



(e) Graphische Darstellung der Ergebnisse von Reihe 5.

Abbildung 2: Graphische Darstellung der Messergebnisse zum Wasserwert.

Die Tabelle(n) 1 und Abbildung(en) 2 zeigen die Messergebnisse zur Bestimmung des Wasserwertes des Kalroimeters nach Schaltplan (Abbildung 1). Aus diesen Ergebnissen können wir nun die benötigte Temperatur  $T_3$  ablesen und den Wasserwert bestimmen (Gleichung 8). Wir haben bei jeder Reihe  $100\text{ml} = 100\text{g}$  Wasser verwendet.

$$T_3(R_1) = 45^\circ\text{C} \quad T_3(R_2) = 49.6^\circ\text{C} \quad T_3(R_3) = 49.9^\circ\text{C} \quad T_3(R_4) = 59.3^\circ\text{C} \quad T_3(R_5) = 54.9^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 W_{R_1} &= 100g \cdot \frac{49.5^\circ C - 45^\circ C}{45^\circ C - 18.9^\circ C} = \frac{500}{29}g \approx 17.2414g \\
 W_{R_2} &= 100g \cdot \frac{53.2^\circ C - 49.6^\circ C}{49.6^\circ C - 19.6^\circ C} = 12g \\
 W_{R_3} &= 100g \cdot \frac{54.4^\circ C - 49.9^\circ C}{49.9^\circ C - 19.4^\circ C} = \frac{900}{61}g \approx 14.7541g \\
 W_{R_4} &= 100g \cdot \frac{65.4^\circ C - 59.3^\circ C}{59.3^\circ C - 19.6^\circ C} = \frac{6100}{397}g \approx 15.3652g \\
 W_{R_5} &= 100g \cdot \frac{60.4^\circ C - 54.9^\circ C}{54.9^\circ C - 20.9^\circ C} = \frac{1050}{29}g \approx 16,1765g
 \end{aligned}$$

Aus diesen Berechneten Werten für den Wasserwert bestimmen wir den Mittelwert. Diesen verwenden wir für die weiteren Berechnungen zur spezifischen Wärmekapazität.

$$\begin{aligned}
 \varnothing W &= \frac{\sum W_{R_i}}{n} \\
 &= \frac{75.5372}{5}g \\
 &\approx 15.10744g
 \end{aligned}
 \qquad
 \begin{aligned}
 \sigma_{\bar{x}} &= \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum (W_{R_i} - \varnothing W)^2}{n-1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} \\
 &= \sqrt{\frac{15.54414729}{4}} \cdot \frac{1}{\sqrt{5}}g \\
 &\approx 0.8815937g
 \end{aligned}$$

Der Wasserwert des Kalorimeters beträgt somit  $(15.11 \pm 0.88)g$ .

Tabelle 2: Messergebnisse zur Berechnung der spezifischen Wärmekapazität (Siehe auch: Gleichung 6).

$U(V)$	$U_{max}(V)$	$\Delta U(V)$	$I(A)$	$I_{max}(A)$	$\Delta I(A)$	$t(s)$	$T_a(^{\circ}C)$	$T_e(^{\circ}C)$	$\Delta T(^{\circ}C)$	$W(g)$	$\Delta W(g)$	$c_{H_2O}(kJ)$	$\Delta c_{H_2O}(kJ)$
30	60	1.2	1.55	3	0.06	84	21.7	30	0.1	15.11	0.88	4.089	0.087
19	60	1.2	0.95	3	0.06	233	21.2	30	0.1	15.11	0.88	4.152	0.134
26	60	1.2	1.35	3	0.06	133	20.1	30	0.1	15.11	0.88	4.097	0.099

Wir haben nun drei Messungen zur Bestimmung des Wasserwertes durchgeführt. Wir berechnen wie auch zuvor beim Wasserwert wieder den Mittelwert der spezifischen Wärmekapazitäten.

$$\begin{aligned}
 \varnothing c &= \frac{\sum c_i}{n} \\
 &= \frac{12.33657}{3}kJ \\
 &\approx 4.11219kJ
 \end{aligned}
 \qquad
 \begin{aligned}
 \sigma_{\bar{x}} &= \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum (c_i - \varnothing c)^2}{n-1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} \\
 &= \sqrt{\frac{2.3533483 \cdot 10^{-3}}{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}kJ \\
 &\approx 0.01980466kJ
 \end{aligned}$$

Der Versuch bringt uns somit auf einen Wert von  $c_{H_2O} = (4.11 \pm 0.02)kJ$ .

## 4.1 Diskussion der Messergebnisse

Der Literaturwert der spezifischen Wärmekapazität von Wasser beläuft sich auf  $4.184kJ$  (bei  $20^\circ C$ )<sup>2</sup>. Der von uns berechnete Wert ( $c_{H_2O} = (4.11 \pm 0.02)kJ$ ) weicht um ca.  $0.074kJ$  bzw.  $1.77\%$  ab. Dies ist ein recht genaues Ergebnis.

Im weiteren wollen wir die **Halbwertszeit** des Kalorimeters ermitteln. Diese gibt an, nach welcher Zeit die Temperatur auf die Hälfte des Anfangswertes abgesunken ist. Dafür haben wir in den Graphen zur Ermittlung des Wasserwertes (Abbildung 2) einen exponentiellen Fit vorgenommen. Dabei ist zu

<sup>2</sup>Siehe: Quelle (Wikipedia)

erkennen, dass die Werte zwischen Graph 2a zu Reihe eins und den Graphen zu den restlichen Reihen relativ stark abweicht. Die Ursache liegt dabei beim Überwachungszeitraum, der bei den Reihen zwei bis fünf viel geringer ist, als bei Reihe eins. Aus diesem Grund verwenden wir zur Berechnung der Halbwertszeit die Werte aus dem Fit von Graph 2a.

Wir haben somit also die Funktion der Temperatur:

$$f_{temp}(t) = 47.175 \cdot e^{-t \cdot 1.94 \cdot 10^{-4}} \quad (9)$$

Konkret berechnet sich die Halbwertszeit dann mit  $f_{temp}(t_H) = \frac{46}{2} = 23[^\circ C]$ .

$$\begin{aligned} f_{temp}(t) &= 47.175 \cdot e^{-t \cdot 1.94 \cdot 10^{-4}} \\ \frac{f_{temp}(t)}{47.175} &= e^{-t \cdot 1.94 \cdot 10^{-4}} \\ \ln\left(\frac{f_{temp}(t)}{47.175}\right) &= -t \cdot 1.94 \cdot 10^{-4} \\ t_H &= -\ln\left(\frac{f_{temp}(t_H)}{47.175}\right) \cdot \frac{1}{1.94 \cdot 10^{-4}} \\ t_H &= -\ln\left(\frac{23}{47.175}\right) \cdot \frac{1}{1.94 \cdot 10^{-4}} \\ t_H &\approx 3702.884s \approx 61.715min \end{aligned}$$

Die Halbwertszeit des Kalorimeter beläuft sich auf etwa *eine Stunde*.

Zuletzt stellt sich noch die Frage, welche Auswirkungen die Nutzung des Wechselstroms bei dem Versuch aufweist. Dazu betrachten wir die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung an der Heizspirale. Diese Überprüfung ist wichtig, um zu zeigen, dass unsere Berechnungen (bzw. Formeln) korrekt sind.



Abbildung 5: Phasen von Strom (blau) und Spannung (gelb).

Wie Abbildung 5 zeigt, sind Strom und Spannung in Phase, wodurch gilt:

$$\begin{aligned} W &= U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot t \cdot \cos(90^\circ) \\ W &= U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot t \end{aligned}$$

Somit fällt zu jedem Zeitpunkt die gesamte Arbeit an der Heizspirale ab. Somit ist die Formel 2 korrekt verwendet worden.

## 5 Fazit

Der Versuch 7 hat gezeigt, dass man die spezifische Wärmekapazität von Flüssigkeiten berechnen kann, indem man das Verhältnis der Flüssigkeit quasi in der Flüssigkeit aufwiegt.