

# Grundpraktikum

## **T1** **Wärmekapazität eines Kalorimeters**

Ben J. F.

16.06.2021

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Motivation und theoretische Vorbetrachtung</b>	<b>4</b>
<b>2. Elektrische Methode</b>	<b>4</b>
2.1. Durchführung . . . . .	4
2.2. Datenauswertung . . . . .	5
2.3. Berechnung der Temperaturdifferent und der Wärmekapazität des Kalorimeters . . . . .	6
2.4. Auflistung der Unsicherheiten . . . . .	7
<b>3. Mischmethode</b>	<b>7</b>
3.1. Durchführung . . . . .	7
3.2. Datenauswertung . . . . .	8
3.3. Berechnung der Wärmekapazität . . . . .	8
<b>4. Vergleich</b>	<b>8</b>
<b>5. Fehlereinschätzung</b>	<b>9</b>
5.1. Waagrechtes Ablesen . . . . .	9
5.2. Volumenmessung . . . . .	9
5.3. Dichte Wasser . . . . .	9
5.4. Wechselwirkung mit der Umgebung, isoliertes System . . . . .	9
<b>6. Schlussfolgerung</b>	<b>9</b>
<b>7. Fragen aus dem Skript: T1</b>	<b>10</b>
<b>A. Quellenverzeichnis</b>	<b>11</b>

## Abbildungsverzeichnis

1.	Messreihe 1.1 . . . . .	5
2.	Messreihe 2.1 . . . . .	5
3.	Messreihe 1.2 . . . . .	5
4.	Messreihe 2.2 . . . . .	5

## Tabellenverzeichnis

1.	Spannung,Strom . . . . .	4
2.	Regressionsparameter . . . . .	6
3.	Wärmekapazität . . . . .	7
4.	Messunsicherheiten 1 . . . . .	7
5.	Daten . . . . .	8
6.	Wärmekapazität . . . . .	8
7.	Vergleich . . . . .	8

## 1. Motivation und theoretische Vorbetrachtung

Ziel des Experimentes ist es die spezifische Wärmekapazität des Behälters, oder auch Kalorimeter genannt, auszurechnen, da die Wärme nicht nur von dem Medium, hier Wasser, aufgenommen wird, sondern ebenso von dem Kalorimeter aufgenommen wird.

Um dies zu tun werden zwei verschiedene Verfahren verwendet. Die elektrische Methode, wo durch eine Heizspirale die den Widerstand  $R$  besitzt und über die die Spannung  $U$  und Stromstärke  $I$  angeschlossen, Wasser mit der Temperatur  $T$  und Volumen  $V$  erhitzt. In einem Zeitintervall misst man dann die Temperatursteigerung und bestimmt mit Hilfe der Gleichung den Kalorimeterwert.

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

Die zweite Methode ist die Mischmethode, wo Wasser mit dem Volumen  $V_1$ , sowie einer niedrigen Temperatur  $T_1$  und Wasser mit dem Volumen  $V_2$  einer höheren Temperatur  $T_2$ . Durch das thermische Gleichgewicht entsteht eine Mischtemperatur, die jedoch geringer ist, da Wärme ebenso durch den Kalorimeter aufgenommen wurde. Daraus ergibt sich der Zusammenhang:

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

## 2. Elektrische Methode

### 2.1. Durchführung

Es wurde eine Wärmeaustauschkorrektur durchgeführt. Dafür wurde vor und nach dem Heizen 5 Minuten jede Minute die Temperatur gemessen, diese werden hier als Vor- und Nachperiode bezeichnet. In der Hauptperiode werden für 5 Minuten das Wasser geheizt und durch einen Motor die Wärme verteilt wird. Dabei wird alle 10 Sekunden die Zeit gemessen. Dabei wird die konstante Spannung und Stromstärke wie in der Tabelle angelegt.

Tabelle 1: gemessene Werte für Stromstärke und Spannung

Messung	Experimentatorin	Experimentator
<i>Spannung[V]</i>		
1	$25.5 \pm 0.1$	$24.8 \pm 0.3$
2	$25.5 \pm 0.1$	$25.0 \pm 0.3$
<i>Stromstärke[A]</i>		
1	$4.00 \pm 0.05$	$3.00 \pm 0.05$
2	$4.00 \pm 0.05$	$3.00 \pm 0.05$

## 2.2. Datenauswertung

In dem Anhang sieht man die gemessenen Werte von T, U, I in Abhängigkeit von t angegeben. Nun wurde die lineare Regression für die Vor-, Nach- und Hauptperiode mit den Gleichungen, gemäß dem Versuchsskript<sup>1</sup>.

$$f_{vor} = at + b \quad (3)$$

$$f_{haupt} = ct + d \quad (4)$$

$$f_{nach} = et + f \quad (5)$$

Die Daten der linearen Regression wurden in folgenden Graphen zusammen gefasst.

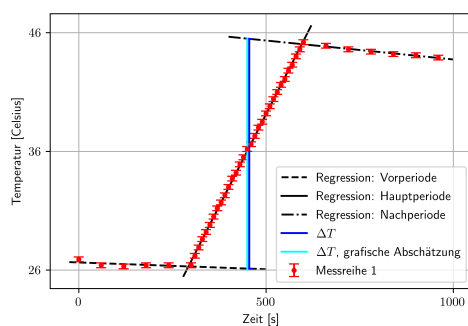


Abbildung 1: Messreihe 1; Vor-, Haupt- und Nachperiode; Ben

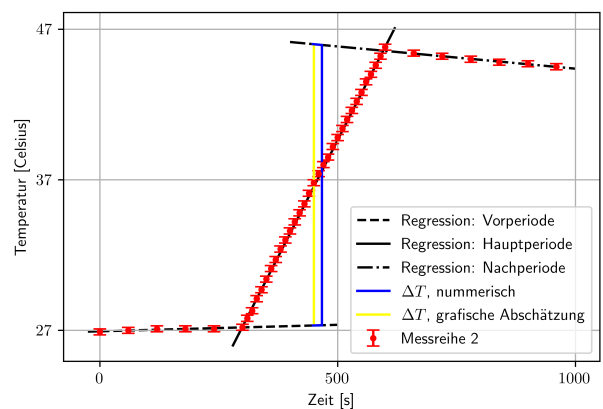


Abbildung 2: Messreihe 2; Vor-, Haupt- und Nachperiode; Ben

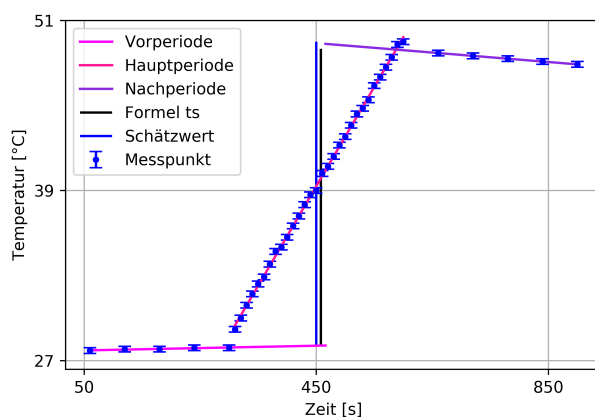


Abbildung 3: Messreihe 1; Vor-, Haupt- und Nachperiode

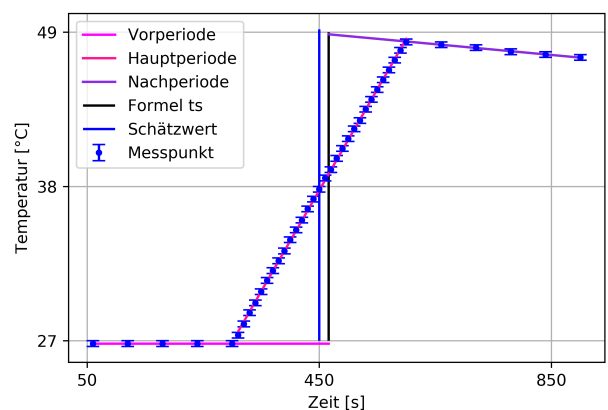


Abbildung 4: Messreihe 2; Vor-, Haupt- und Nachperiode

<sup>1</sup>Mül21.

Die linearen Zusammenhänge konnten somit bestätigt werden. Dabei kamen die Parameter der linearen Regressionen werden in folgender Tabelle eingefügt.

Tabelle 2: Regressionsparameter, gemittelt

Parameter	Korrektur I	Korrektur II
<i>Vorperiode</i>		
$a [^{\circ}\text{Cs}^{-1}]$	$(4.2 \pm 0.8) \cdot 10^{-4}$	$(1 \pm 4) \cdot 10^{-4}$
$b [^{\circ}\text{C}]$	$27.23 \pm 0.32$	$26.79 \pm 0.07$
<i>Hauptperiode</i>		
$c [^{\circ}\text{Cs}^{-1}]$	$(7.106 \pm 0.020) \cdot 10^{-2}$	$(62.04 \pm 0.15) \cdot 10^{-2}$
$d [^{\circ}\text{C}]$	$6.53 \pm 0.09$	$8.41 \pm 0.07$
<i>Nachperiode</i>		
$e [^{\circ}\text{Cs}^{-1}]$	$-(3.58 \pm 0.08) \cdot 10^{-3}$	$-(3.07 \pm 0.013) \cdot 10^{-3}$
$f [^{\circ}\text{C}]$	$50.77 \pm 0.07$	$47.13 \pm 0.11$

### 2.3. Berechnung der Temperaturdifferent und der Wärmekapazität des Kalorimeters

Aus dem Versuchsskript<sup>2</sup> wurden die Zeiten der Schnittpunkte der Vor und Nachperiode mit der Hauptperiode.

$$t_B = \frac{d - b}{a - c} \quad (6)$$

$$t_E = \frac{f - d}{c - a} \quad (7)$$

Und als Zeit<sup>3</sup>, wo die Flächen zwischen der waagerechten und dementsprechenden Dreiecken der Hauptperiode, mit der Vor oder Nachperiode.

$$t_s = \frac{\frac{d - b}{a - c} \cdot \sqrt{c - a} + \frac{f - d}{c - a} \cdot \sqrt{c - e}}{\sqrt{c - a} + \sqrt{c - e}} \quad (8)$$

Damit ergibt sich als Temperaturdifferenz:

$$\Delta T = (e - a)t_s + (f - b) \quad (9)$$

<sup>2</sup>Mül21.

<sup>3</sup>Mül21.

Die Wärmekapazität des Kalorimeter ergibt sich durch (1) mit der Zeitdifferenz als Wert der Dauer der Hauptperiode. Somit ergeben sich die Werte und ihre Unsicherheiten gemäß der Gauß'scher Fehlerfortpflanzung.

Tabelle 3: Wärmekapazität des Kalorimeters nach elektrischer Methode mit gemittelten Parametern

Formelzeichen	Experimentatorin	Experimentator
$t_B$ [s]	293	295.6
$t_E$ [s]	626	623
$t_s$ [s]	461	461
$\Delta T$ [°C]	$22.0 \pm 0.5$	$19.3 \pm 0.4$
$C_k$	$155 \pm 28$	$140 \pm 40$

## 2.4. Auflistung der Unsicherheiten

Dabei besitzen die Gerätewerte die folgenden zufällige, durch Geräteunsicherheit und Größtfehlerabschätzung der Ableseungenauigkeit, und systematischen Fehler, durch Genauigkeitsangaben der Messgeräte.

Tabelle 4: Messunsicherheiten der elektrischen Methode.

Die Nummerierung 1 und 2 stehen für Experimentatorin und Experimentator.  
Rz=Reaktionszeit. Vm=Voltmeter. Am=Amperemeter. Stu=Stoppuhr.

DTm= Digital Thermometer. Die Gleichungen für die Unsicherheiten wurden im Skript[Mül20] nachgeschlagen.

Unsicherheit	Temperatur [°C]	Zeit [s]	Spannung [V]	Strom [A]
systematische Unsicherheiten	$u_{last-Digit} = \pm 0.01$	$u_{Stu} = 5 \cdot 10^{-4} T$	$u_{Vm,1} = \pm 0.1$	$u_{Am,1,2} = \pm 0.05$
	$u_{DTm} = \pm T \cdot 10^{-3}$	$u_{last-Digit} = \pm 0.01$	$u_{Vm,2} = \pm 0.3$	–
statistische Unsicherheiten		$u_{Rz,1,2} = \pm 0.3$	–	–

## 3. Mischmethode

### 3.1. Durchführung

In dem Kalorimeter wurde eine Wassermenge von 150ml mit ca. Zimmertemperatur eingefügt und anschließend eine erhitzte Wassermenge des selben Volumens. Anschließend wird der Motor angeschaltet, damit es schneller zum thermischen Gleichgewicht kam. Mittels der Richmannschen Mischungsregel wird dann die Wärmekapazität des Kalorimeters.

### 3.2. Datenauswertung

Dabei wurden die folgenden Werte aufgenommen.

Tabelle 5: gemittelte Daten der Mischungsmethode

Formelzeichen	Experimentatorin	Experimentator
$T_1$ [K]	$300.18 \pm 0.12$	$299.82 \pm 0.12$
$T_2$ [K]	$316.68 \pm 0.12$	$313.22 \pm 0.12$
$T_M$ [K]	$307.22 \pm 0.12$	$305.75 \pm 0.12$
$V_1$ [kg]	$0.1500 \pm 0.0012$	$0.1487 \pm 0.0012$
$V_2$ [kg]	$0.1500 \pm 0.0012$	$0.1483 \pm 0.0012$

### 3.3. Berechnung der Wärmekapazität

Mit der Gleichung (2) kommt als Wärmekapazität des Kalorimeters folgende Werte:

Tabelle 6: Messergebnisse für die Wärmekapazität nach der Mischungsmethode

Messreihe	Experimentatorin	Experimentator
1	$220 \pm 30$	$110 \pm 60$
2	$210 \pm 90$	$190 \pm 50$
3	$230 \pm 60$	$170 \pm 70$

## 4. Vergleich

Aus der Mischmethode und der elektrischen Methode konnten folgende Werte ermittelt werden.

Tabelle 7: Vergleich der Wärmekapazitäten des Kalorimeters

Messreihe	Experimentatorin	Experimentator
<i>elektrische Methode</i>		
1	$180 \pm 40$	$120 \pm 40$
2	$130 \pm 40$	$150 \pm 40$
<i>Mischungsmethode</i>		
1	$220 \pm 30$	$110 \pm 60$
2	$210 \pm 90$	$190 \pm 50$
3	$230 \pm 60$	$170 \pm 70$
<i>Mittelwerte</i>		
	$192 \pm 25$	$148 \pm 24$

Alle Werte scheinen mit ihren Unsicherheiten sich zu überschneiden und somit in demselben Wertebereich zu liegen, auch wenn die Werte der Mischmethode deutlich höher liegt. Die Unsicherheiten scheinen bei beiden jedoch sehr groß zu sein.



## 5. Fehlereinschätzung

### 5.1. Waagerechtes Ablesen

Durch die Digitalen Anzeigen und der Spiegelskala wurde der Ablesefehler möglichst klein gehalten und hat kaum Auswirkungen auf die Unsicherheiten und dem Wert.

### 5.2. Volumenmessung

Das Messen des Volumens ist aufgrund der Oberflächenspannung fehlerhaft. Außerdem bleibt noch etwas im dem Messzylindern. Doch wurde 3ml als Fehler genommen, was ausreichend ist, auch wenn es die Unsicherheit größer werden lässt.

### 5.3. Dichte Wasser

Es wurde angenommen, dass man die Masse und Volumen auf Grund der Dichte gleich fehlerlos setzen könnte. Die Dichte ist jedoch Temperatur abhängig. Jedoch ist es nahezu identisch, da die Dichte nahezu  $1000 \text{ kg m}^{-3}$  beträgt und die Differenzen von 20 K kaum von belangen ist. Jedoch ist es keine fehlerlose Annahme.

### 5.4. Wechselwirkung mit der Umgebung, isoliertes System

Bei der elektrischen Messmethode wurde die Wärmeaustauschkorrektur gemacht, weshalb dort genau der Umstand der Wechselwirkung mit der Umgebung von dem Wert korrigiert wird.

Bei der Mischmethode hingegen wurde diese Wechselwirkung gemessen, jedoch wurde die gesamte Wärmemenge die aus dem System gelangt gemessen, was auch einen Teil beträgt der nicht in dem Kalorimeter fließt sondern in die Umgebung, zum Beispiel dem Rührer, Motor, Thermometer. Somit kann man nicht von einer isolierten System ausgehen, was die Werte zu groß werden lässt bei der Mischmethode.

Außerdem könnte auch ein Effekt haben, dass der Kalorimeter noch nicht ganz abgekühlt war, als man das Experiment wiederholt hatte, bzw. zur Mischmethode nach der elektrischen Methode kam. Somit würde weniger Wärme aufgenommen werden und die Wärmekapazität des Kalorimeter kleiner.

## 6. Schlussfolgerung

Aufgrund der Wärmeaustauschkorrektur scheint die elektrische Methode die genauere zu sein, trotzdem die Unsicherheit hoch liegt, aufgrund der vielen fehlerbehafteten Größen für die Berechnung. Man könnte den Fehler dezimieren indem man den Computer die Messungen durchführen lässt, denn so würden beispielsweise die Reaktionszeit und die (wenn auch geringen) Ablesefehler wegfallen.

Bei der Mischtemperatur wäre es von Vorteil den Kalorimeter besser von der Umgebung zu isolieren, denn zum Beispiel für das Loch für den Thermometer gibt es direkten Kontakt mit der Umgebung. Um präzisere Werte zu bekommen könnte man alle Gerätschaften (Motor, Kalorimeter, Thermometer etc.) ebenso auf eine festgelegte gleiche Temperatur gebracht werden, bevor ein neues Experiment gestartet wird, um gleiche Ausgangsbedingungen zu haben.

Allgemein wäre es ebenso genauer statt des Volumens die Masse zu messen, da eine digitale Waage einen geringeren Fehler besitzt und somit auch Ablesefehler durch Oberflächenspannung entgegen gewirkt werden.

Alles im Allem scheint die Hypothese des Experimentes mit den Zusammenhängen der Gleichungen zur Wärmekapazität des Kalorimeters bestätigt und das Experiment kann als gelungen angesehen werden.

## 7. Fragen aus dem Skript: T1

Die Wärmekapazität  $C_k$  des Kalorimeters ist von der eingefüllten Wassermenge und der Temperatur aufgrund der Energieerhaltung abhängig.<sup>4</sup> Die Menge des Wasser beeinflusst die maximale Energie, welche gespeichert werden kann und die Temperatur gibt an, wie viel Energie gespeichert ist. Diesen Zusammenhang können wir in beiden Gleichungen(1, 2) beobachten. Denn beide stellen die Energieerhaltung dar.

<sup>5</sup>Die Mischungsmethode basiert darauf, dass sich zwei gleich große Mengen von Wasser mit unterschiedlichen Temperaturen vermischen. Hierbei findet ein gewollter Wärmeaustausch statt. Bei der Wärmeaustauschkorrektur wollen wir unser Ergebnis von dem ungewollten Wärmeaustausch mit der Umgebung bereinigen. Daraus lässt sich schließen, dass die Wärmeaustauschkorrektur nicht erforderlich ist.

"Der Wert der spezifischen Wärmekapazität für Wasser ist relativ groß im Vergleich zu anderen Flüssigkeiten und Festkörpern."<sup>67</sup> Dadurch können die Ozeane viel Energie speichern, ohne sich schnell zu erwärmen. Aufgrunddessen ändert sich das Wassersystem im Meer sehr langsam und klimatische Veränderungen und Folgen kommen erst spät zum Vorschein. Die spezifische Wärmekapazität von Wasser führt ebenfalls dazu, dass sich die Ozeane nach klimatischen Veränderungen bis zu einigen Jahrhunderten brauchen, um sich zu erholen.<sup>8</sup>

Die spezifische Wärmekapazität von Wasser bewirkt, dass die klimatischen Verhältnisse in Küsten deutlich milder sind als im Innern eines Kontinents. Das heißt, dass die Sommer kühler sind und die Winter wärmer. Dies liegt daran, dass sich die Meere im Frühjahr nur langsam aufwärmen und im Herbst/Winter nur langsam abkühlen.<sup>9</sup>

---

<sup>4</sup>Erste Frage [vgl. Mül21, S. 77]: Weshalb ist die Wärmekapazität  $C_k$  des Kalorimeters von der eingefüllten Wassermenge und der Temperatur abhängig?

<sup>5</sup>Zweite Frage [vgl. Mül21, S. 77]: Warum ist für die Mischungsmethode keine Wärmeaustauschkorrektur erforderlich?

<sup>6</sup>vgl. Mül21, S. 77.

<sup>7</sup>Dritte Frage [vgl. Mül21, S. 77]: Der Wert der spezifischen Wärmekapazität für Wasser ist relativ groß im Vergleich zu anderen Flüssigkeiten und Festkörpern. Welche Bedeutung hat dies für das Klima?

<sup>8</sup>Unb21.

<sup>9</sup>Unb21.

## A. Quellenverzeichnis

- [Mül20] Müller, Dr., Uwe. Physikalisches Grundpraktikum (Websitetitel). 6.03.2020.
- [Mül21] Müller, Dr., Uwe. T1 Wärmekapazität eines Kalorimeters. de; 9.6.2021.
- [Unb21] Unbekannt. Eigenschaften\_des\_Wassers. LUMITOS AG. 10.06.2021. URL: [https://www.chemie.de/lexikon/Eigenschaften\\_des\\_Wassers.html](https://www.chemie.de/lexikon/Eigenschaften_des_Wassers.html).