



universität  
**uulm**

# Praktikum Physik für Naturwissenschaftler

Bericht zum Versuch

## Spezifische Wärme

Durchgeführt am 24. November 2023

### Gruppe 6

**Moritz Wieland** und **Dominik Beck**  
([moritz.wieland@uni-ulm.de](mailto:moritz.wieland@uni-ulm.de)) ([dominik.beck@uni-ulm.de](mailto:dominik.beck@uni-ulm.de))

Betreuer: **Oliver Bielik**

Wir bestätigen hiermit, dass wir die Ausarbeitung selbständig erarbeitet haben und detaillierte Kenntnis vom gesamten Inhalt besitzen.

\_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_  
Moritz Wieland Dominik Beck

# Inhaltsverzeichnis

|         |   |         |
|---------|---|---------|
| Kapitel | 1 Einleitung  | Seite 2 |
| Kapitel | 3 Versuchsdurchführung und Auswertung   | Seite 3 |
| 3.1     | Versuch 1 - Bestimmung der spezifischen Wärme des Wasser auf mechanischen Wege<br>Aufbau/Theorie — 3 • Versuchsdurchführung — 4 • Ergebnisse — 4  | 3       |
| 3.2     | Versuch 2 - Vgl. verschiedener Temperaturmessmethoden<br>Theorie Thermoelement/Widerstandsthermometer und Strahlungsthermometer — 4 • Versuchsaufbau und -durchführung — 5 • Ergebnisse — 5 | 4       |
| 3.3     | Versuch 3 - Bestimmung der spezifischen Wärme von Wasser auf elektrischem Wege<br>Theorie — 5 • Ergebnisse — 6  | 5       |
| 3.4     | Versuch 4 - Spezifische Wärmekapazität fester Körper<br>Theorie — 6 • Versuchsdurchführung — 7 • Ergebnisse — 7   | 6       |
| 3.5     | Versuch 5 - Latente Wärme - die spezifische Schmelzwärme von Wasser<br>Theorie — 8 • Versuchsaufbau und -durchführung — 8 • Ergebnisse — 8  | 8       |

# 1 Einleitung

Im vorliegenden Versuch steht die Bestimmung der spezifischen Wärme von verschiedenen Stoffen im Fokus. Diese Messungen erfolgen sowohl auf mechanischem Wege als auch unter Verwendung eines Thermoelements. Vor dem eigentlichen Einsatz des Thermoelements ist eine Kalibrierung erforderlich, um präzise Temperaturmessungen zu gewährleisten.

Besonderes Augenmerk gilt der Bestimmung der spezifischen Wärme von Wasser, bei der mehrere Methoden zum Einsatz kommen. Das kalibrierte Thermoelement spielt dabei eine entscheidende Rolle für genaue Temperaturmessungen. Zusätzlich werden am Ende des Experiments die Schmelzwärme von Wasser sowie die spezifische Wärme von drei verschiedenen Festkörpern ermittelt.

Diese Untersuchung kombiniert die Genauigkeit der mechanischen Messmethode mit der Vielseitigkeit des Thermoelements und ermöglicht so ein umfassendes Verständnis der thermodynamischen Eigenschaften der untersuchten Stoffe.

# 3 Versuchsdurchführung und Auswertung

## 3.1 Versuch 1 - Bestimmung der spezifischen Wärme des Wasser auf mechanischen Wege

### 3.1.1 Aufbau/Theorie

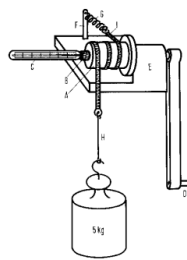


Abbildung 3.1: Schürholzapparatur  
ö

Die spezifische Wärmeänderung eines Stoffes charakterisiert die quantitativen Veränderungen der inneren Energie pro Masseneinheit, die auftreten, wenn sich die Temperatur des Stoffes entsprechend ändert. Die Spezifische Wärmekapazität misst also die Fähigkeit eines Materials, Wärmeenergie zu absorbieren oder abzugeben und dabei die Temperatur zu verändern. Diese versuchen wir im folgenden mit der Abbildung 3.1.1 zu bestimmen. Dazu wird das Kalorimeter mit Wasser befüllt und dann durch Reibung des Fadens Wärme erzeugt die in das Kalorimeter übergeht. Aus der Differenz der Wärme des Wasser im Kalorimeter lässt sich nun die Wärmeenergie bestimmen welche der Reibungsenergie entsprechen sollte. Dafür nutzen wir folgende Formeln:

Reibungsenergie:

$$W_r = F_r \cdot 2\pi \cdot r \cdot n$$

Wärmeenergie:

$$Q_r = (\Gamma_K + m_\omega c_\omega) \cdot \Delta T$$

Setzt man diese nun gleich lässt sich die spezifische Wärmekapazität von dem Wasser berechnen:

$$G \cdot 2\pi \cdot r \cdot n = (m_K c_K + m_\omega c_\omega) \cdot \Delta T$$

$$\Rightarrow c_\omega = \frac{\frac{W_r}{\Delta T} - m_K c_K}{m_\omega}$$

Dies werden wir nun im folgenden Versuch durchführen.

### 3.1.2 Versuchsdurchführung

Die Kurbel wird je 50 mal gedreht und nach jeden 50 mal Drehen wird die Temperatur am Thermometer abgelesen. Daraus können wir dann die Wärmeenergie sowie die Reibungsenergie berechnen. Da wir von einem geschlossenen System ausgehen kann man diese wie oben gleich setzen und nach  $c_w$  umstellen.

### 3.1.3 Ergebnisse

| Anzahl der Umdrehungen $n$ | Temperatur in °C | $\Delta$ Temperatur in °C |
|----------------------------|------------------|---------------------------|
| 0                          | 22,2 C           | 0 C                       |
| 50                         | 23,3 C           | 1,1 C                     |
| 100                        | 24 C             | 0,7 C                     |
| 150                        | 25 C             | 1 C                       |
| 200                        | 26 C             | 1 C                       |
| 250                        | 27 C             | 1 C                       |

$W_r$  lässt sich direkt aus dem Durchmesser des Kalorimeters berechnen und beträgt 339.0 J. Der ermittelte Wert für die spezifische Wärmeänderung  $c_{ermittelt w} = 3999.74 \frac{J}{kgK}$  weicht leicht vom Literaturwert für die spezifische Wärmekapazität von Wasser  $c_{Lit w} = 4190 \frac{J}{kgK}$  ab. Diese geringfügige Diskrepanz könnte auf einzelne Messungenauigkeiten zurückgeführt werden, die sich auf das Endergebnis auswirken. Die Berechnung erfolgte durch das einzelne Berechnen für  $c_w$  für jedes  $\Delta T$  und dann das mitteln über diese 5 Werte.

Darüber hinaus ist anzumerken, dass eine hundertprozentige Energieerhaltung bei der Umwandlung von Reibungsenergie in Wärmeenergie in der Praxis nicht realisierbar ist, u.a. weil das System auch Wärme an die Luft abgibt was nicht berücksichtigt wird. Das kann zu weiteren Abweichungen zwischen dem gemessenen und dem theoretisch erwarteten Wert führen. Die Verfälschung des genauen Ergebnisses ist daher teilweise auf die inhärente Unvollkommenheit praktischer Energieumwandlungsprozesse zurückzuführen. Weitere Fehlerquellen sind das Anstoßen vom Thermometer am Boden (was dazu führt, dass die Temperatur vom Kalorimeter, welche stark von der Außentemperatur beeinflusst wird, und nicht vom Wasser gemessen wird), zu frühes ablesen vom Thermometer und Verunreinigungen vom Wasser.

## 3.2 Versuch 2 - Vgl. verschiedener Temperaturmessmethoden

### 3.2.1 Theorie Thermoelement/Widerstandsthermometer und Strahlungsthermometer

**Thermoelement:**

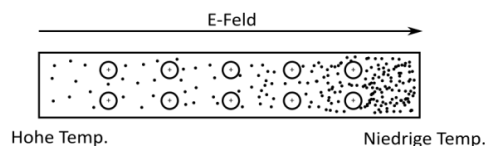


Abbildung 3.2: Der Seebeck-Effekt vereinfacht dargestellt.

Durch die Anwendung eines Thermoelements ist es möglich, die Temperatur eines Stoffes zu bestimmen. Bei einem elektrischen Leiter, dessen zwei Enden unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt sind, entsteht aufgrund des Seebeck-Effekts eine elektrische Spannung. Dieser Effekt basiert darauf, dass Elektronen am wärmeren Ende eine höhere kinetische Energie aufweisen, wie in Abbildung 3.2.1 illustriert. Im Gegensatz dazu besitzen Elektronen am kälteren Ende eine geringere Bewegungsenergie, was zu einer höheren Elektronendichte führt. Der resultierende Unterschied in der Elektronendichte führt zu einer messbaren elektrischen Spannung.

Die Höhe der gemessenen Spannung korreliert direkt mit der Größe des Temperaturunterschieds zwischen den beiden Enden des Leiters. Ein größerer Temperaturunterschied führt also zu einer höheren Spannung, die durch das Thermoelement erfasst werden kann.

### Widerstandsthermometer:

Das Widerstandsthermometer besteht lediglich aus einem Widerstand welcher an einem Multimeter angeschlossen ist. Taucht man diesen in die zu messende Flüssigkeit und der angezeigte Widerstand liegt zwischen 2 Werten in der Tabelle, welche in der Anleitung angehängt ist, so lässt sich durch Interpolation ein genauerer Temperaturwert bestimmen. Sei  $R$  der Widerstand und  $T$  die Temperatur so lässt sich mit folgender Formel die gemessene Temperatur berechnen.

$$T = T_1 + \frac{R - R_1}{R_2 - R_1} \cdot \Delta T$$

### Strahlungsthermometer

Ein Strahlungsthermometer misst die Temperatur eines Objekts, indem es die von ihm emittierte Infrarotstrahlung erfasst. Die gemessene Temperatur steht in direktem Zusammenhang mit der Temperatur des Objekts, sowie dem Abstand des Objekts zum Thermometer. Der Abstand sollte also  $\leq 10\text{cm}$  zum Objekt liegen um störende Strahlen vom Rand oder der Umgebung zu vermeiden.

### 3.2.2 Versuchsaufbau und -durchführung

Ein Gefäß wird mit Wasser gefüllt und mit jeden der 3 Thermometer wird schnell hintereinander die Temperatur gemessen.

### 3.2.3 Ergebnisse

| Thermometerart         | Gemessene T in °C |
|------------------------|-------------------|
| Thermoelement          | 19.8              |
| Strahlungsthermometer  | 19.6              |
| Widerstandsthermometer | 19.5              |

Die Unterschiede zwischen den Messwerten können folgende Ursachen haben. Das Strahlenthermometer misst die Oberflächentemperatur des Wassers während die anderen 2 in der Mitte vom Wasser messen. Ein Messfehler kann die Interpolation der Widerstände sein und damit ein Unterschied zu der tatsächlichen Temperatur entstehen.

## 3.3 Versuch 3 - Bestimmung der spezifischen Wärme von Wasser auf elektrischem Wege

### 3.3.1 Theorie

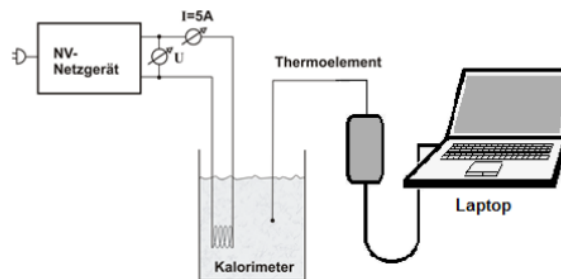


Abbildung 3.3: Aufbau Versuch 3.

Die spezifische Wärmekapazität des Wassers kann auch bestimmt werden, indem man mit Hilfe der Joulschen Wärme, die in einem stromdurchflossenen Leiter entsteht, eine definierte Wassermenge erwärmt und deren Temperaturerhöhung misst, siehe Abbildung 3.3.1. Hierzu wird eine Heizspire ins Kalorimeter eingebracht, die mit einem Niedervolt-Netzgerät betrieben wird. Während des Aufheizvorgangs (5 Minuten) werden Strom (ca. 5 A) und Spannung

(ca. 10V) mit einem Amperemeter bzw. einem Voltmeter gemessen (wird direkt vom Gerät angezeigt). Da wir von einem abgeschlossenen System ausgehen, können die zugeführte und aufgenommene Energie gleichgesetzt werden. Stellt man dann noch die entstandene Gleichung nach dem gewünschten Wert um so kann die spezifische Wärmekapazität von Wasser bestimmt werden.

Hierzu benötigen die aufgenommenen Wärmemenge:

$$\Delta Q = (C_K + m_{Wasser} c_{Wasser}) \cdot \Delta T$$

und die aufgewendete elektrische Arbeit:

$$\Delta W = U \cdot I \cdot \Delta t$$

Nun lässt es sich Gleichsetzen und nach  $c_{Wasser}$  umstellen:

$$c_{Wasser} = \frac{UI\Delta t - C_K\Delta T}{m_{Wasser}\Delta T}$$

### 3.3.2 Ergebnisse

| $G_B$ in Kg | $G_W$ in Kg | Strom in A | Spannung in Volt | $T_1$ in °C | $T_2$ in °C | $\Delta T$ in °C |
|-------------|-------------|------------|------------------|-------------|-------------|------------------|
| 0.0995      | 0.512       | 4.69       | 10.0             | 19.0        | 25.6        | 6.6              |

Nun können wir mit der oben genannten Formel die spezifische Wärmekapazität berechnen die da wäre  $3990.5 \frac{J}{KgK}$ . Die Differenz zum Literaturwert ist recht hoch aber lässt sich durch Fehler in der Messung erklären. Wir haben folgende Fehlerquellen:

| Fehlerquelle | Angenommener Fehler |
|--------------|---------------------|
| Strom        | -                   |
| Spannung     | -                   |
| Masse Wasser | 0.0001kg            |
| Zeit         | 1s                  |
| Temperatur   | 0.2°C               |

Daraus können wir folgenden Gesamtfehler berechnen:

$$\Delta c_{Wasser} = \left| \frac{UI\Delta t}{m_{Wasser}\Delta T^2} \right| \cdot \delta T + \left| \frac{IU}{m_{Wasser}\Delta T} \right| \cdot \delta t + \left| \frac{\frac{-UI\Delta t}{\Delta T} - m_k c_k}{m_{Wasser}^2} \right| \cdot \Delta m_{Wasser}$$

Der Größtfehler beträgt  $140.87 \frac{J}{KgK}$ . Daraus folgt ein Ergebnis von  $3990.5 \frac{J}{KgK} \pm 140.87 \frac{J}{KgK}$  was recht nah am Literaturwert liegt. Zusätzlich werden die Wärmeverluste bei diesem Versuch nicht berücksichtigt, was ebenfalls zu einer Abweichung führt.

## 3.4 Versuch 4 - Spezifische Wärmekapazität fester Körper

### 3.4.1 Theorie

Die spezifische Wärmekapazität fester Körper wird mittels der Mischungsmethode bestimmt, indem ein Probekörper der Masse  $m_1$  auf die Temperatur von siedendem Wasser erhitzt wird und anschließend in ein Kalorimeter mit Wasser der Masse  $m_2$  und Anfangstemperatur  $T_1$  gebracht wird. Die Entwicklung der Mischtemperatur  $T_{misch}$  aufgezeichnet wird aufgezeichnet und daraus die Wärmekapazität des Körpers berechnet.

Dazu benötigt man die vom Körper abgegebene Wärmeenergie:

$$\Delta Q_1 = m_1 c_1 \cdot (T_1 - T_{misch})$$

wobei  $c_1$  die spezifische Wärmekapazität ist die berechnet werden soll. Die im Kalorimeter aufgenommen Wärmemenge lässt sich mit:

$$\Delta Q_2 = (C_K + m_2 c_{Wasser}) \cdot (T_{misch} - T_2)$$

berechnen.

Da wir von einem abgeschlossenen System ausgehen lässt sich  $c_1$  durch Gleichsetzen von  $Q_1 = Q_2$  und umstellen tatsächlich berechnen:

$$c_1 = \frac{(C_K + m_2 c_{Wasser}) \cdot (T_{misch} - T_2)}{m_1 \cdot (T_1 - T_{misch})}$$

Der Aufbau sieht in etwa so aus:

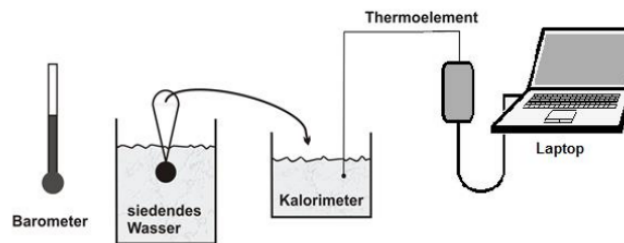


Abbildung 3.4: Aufbau Versuch 4.

### 3.4.2 Versuchsdurchführung

Zuerst wird der Luftdruck mit einem Barometer bestimmt um den Siedepunkt des Wasser zu bestimmen. Dann wird der Körper gewogen und im Wasser auf Temperatur gebracht. Nun lässt sich mit durch den Temperaturunterschied vom Wasser die spezifische Wärmekapazität mithilfe von oben genannter Formel berechnen.

### 3.4.3 Ergebnisse

Die Masse der Körper beträgt:

| Probekörperart | Gewicht in Kg |
|----------------|---------------|
| Eisen          | 0.107         |
| Messing        | 0.116         |
| Aluminium      | 0.108         |
| Kalorimeter    | 0.1006        |
| Wasser         | 0.5551        |

Da wir einen Luftdruck von 960mBar haben wir eine Siedtemperatur 98.9°C.

| Metallart | Wasser Temp $T_1$ | Wassertemp $\Delta T$ |
|-----------|-------------------|-----------------------|
| Aluminium | 19.7              | 22.6                  |
| Messing   | 22.6              | 23.9                  |
| Eisen     | 23.8              | 25.3                  |

Nun können wir folgende Werte durch einsetzen in unsere Formel oben berechnen:



| Metallart | Literaturwert ( $\frac{J}{KgK}$ ) | Berechnet ( $\frac{J}{KgK}$ ) | Abweichung ( $\frac{J}{KgK}$ ) |
|-----------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Eisen     | 450                               | 445.3                         | 4.7                            |
| Messing   | 381                               | 349.3                         | 31.7                           |
| Aluminium | 896                               | 794.4                         | 101.6                          |

Die Abweichungen ergeben sich aus den Messfehlern beim ablesen, durch zu langsames übertragen vom kochenden Wasser in das Kalorimeter oder zu frühes entfernen vom Körper aus diesem.

## 3.5 Versuch 5 - Latente Wärme - die spezifische Schmelzwärme von Wasser

### 3.5.1 Theorie

Kommt es bei der Abgabe oder Aufnahme von Wärmeenergie zu einer Strukturumwandlung (z.B. schmelzen von Eis), so bleibt dabei die Temperatur konstant. Diese Wärmeenergie wird auch latente Wärme bezeichnet. Die spezifische Schmelzwärme  $q_s$  eines Stoffs ist der Quotient aus der zu Schmelzen zugeführten Wärmeenergie und der Masse des Stoffs.

$$q_s = \frac{\Delta Q_s}{m}$$

Wärme die das Kalorimeter abgibt:

$$\Delta Q_{abgegeben} = (m_{Wasser} c_{Wasser} + C_{Kalorimeter})(T_1 - T_{misch})$$

Und die vom Eis/Schmelzwasser aufgenommene Wärme beträgt:

$$\Delta Q_{aufgenommen} = m_{Eis} q_s + m_{Eis} c_{Wasser}(T_{misch} - T_{Eis})$$

In diesem Versuch nehmen wir  $T_{Eis} = 0^\circ\text{C}$  an. Nun lässt sich  $\Delta Q_{aufgenommen}$  und  $\Delta Q_{abgegeben}$  gleichsetzen und nach  $q_s$  umstellen. Daraus folgt dann:

$$\Delta q_s = \frac{(m_{Wasser} c_{Wasser} + C_{Kalorimeter})(T_1 - T_{misch}) - m_{Eis} c_{Wasser}(T_{misch} - T_{Eis})}{m_{Eis}}$$

### 3.5.2 Versuchsaufbau und -durchführung

In diesem Versuch soll die Schmelzwärme von Wasser bestimmt werden. Dazu wird Eis in warmen Wasser geschmolzen. Zu Beginn wird die Masse vom Kalorimeter und dem Eis gewogen. Danach wird das Eis hinzugefügt und die Gesamtmasse erneut gewogen. Dann lässt sich mit den oben genannten Formeln die Schmelzwärme bestimmen.

### 3.5.3 Ergebnisse

Die Messwerte sind in der folgenden Tabelle aufgelistet:

|                                  | Messwerte |
|----------------------------------|-----------|
| Gewicht Wasser warm $m_{Wasser}$ | 0.5144 kg |
| Gewicht Eis $m_{Eis}$            | 0.2178 kg |
| Temperatur $T_1$                 | 39.0 °C   |
| Temperatur $T_{misch}$           | 19.2 °C   |

Mit oben genannter Formel kommen wir auf eine Schmelzwärme von: 283326 J/Kg

Abweichungen sind darauf zurückzuführen, dass hier wieder eine Idealisierung vorgenommen wurde. Das System tauscht zusätzlich Wärme mit der Umgebung aus. Diese wird nicht berücksichtigt und verfälscht somit das Ergebnis.

Zu begin ist außerdem beim Eis eine bestimmte Menge Schmelzwasser vorhanden was hier aber noch zur Masse des Eises gerechnet wird.