

1 Wärmelehre

1. Dezember 2016

LUKAS BÜHLER, JÉRÔME LANDTWING
(M4A)

Markus Hägi, KSA

In diesem Praktikum war es das Ziel die Wärmekapazität von Wasser zu bestimmen und die bei der Erhitzung entstehenden Wärmeverluste zu erfassen. In einem zweiten Teil wurde den Wärmeaustausch zwischen Flüssigkeiten und Festkörpern genauer angeschaut.

1 Theorie

Beim Erwärmen eines Körper wird Energie in Form von Wärme (ΔQ) hinzugefügt. Die Temperatur des Körpers hat vor dem Erhitzen eine Anfangstemperatur ϑ_1 und nach der Erhitzung einen Endwert ϑ_2 . Die Temperaturerhöhung $\Delta\vartheta$ ergibt sich aus:

$$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 \quad (1)$$

Die Temperaturerhöhung ist proportional zur Masse des Körpers und lässt sich in folgenden Bezug zur Wärmeenergie bringen:

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta \quad (2)$$

Dabei ist c eine Materialkonstante für Wärme und ist vom Material des Körpers abhängig. Sie heisst spezifische Wärmekapazität.

$$c = \frac{\delta Q}{m \cdot \delta\vartheta} \quad (3)$$

Die spezifische Wärmekapazität hat die SI-Einheit $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ und beschreibt wie viel Energie es braucht um ein Material zu erhitzen. Meistens gibt man sie aber mit der Einheit $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ an.

Diese Prinzipien der Wärmelehre lassen sich auch auf Flüssigkeiten übertragen. In diesem Praktikum erhitzen wir Flüssigkeiten mit einem Tauchsieder, welcher eine Widerstandsheizung ist. Das heisst er Produziert wärme mit elektrischem Strom durch einen im Stromkreis enthaltenen Widerstand. In diesem Fall kann man die Wärmemenge wie folgt berechnen:

$$\vartheta Q = U \cdot I \cdot \Delta t \quad (4)$$

Beim Heizen gibt es stets auch Wärmeverluste. Nun gibt es also einen weiteren Punkt, welchem man Beachtung schenken muss bei der Berechnung der Wärmekapazität.

Man kann natürlich versuchen die Wärmeverluste durch eine gute Isolierung möglichst klein zu halten. Bei Flüssigkeiten erhitzt man trotz einer Isolierung das Gefäss aber trotzdem mit. Man kann mit der spezifischen Wärmekapazität des Gefässes hingegen die zum Gefäss zugeführte Energie von der gesamten zugeführten Energie abziehen und somit eine genauere Wärmekapazität für die Flüssigkeit berechnen.

$$\Delta Q_{\text{effektiv}} = \Delta Q_{\text{zugeführt}} - \Delta Q_{\text{Gefäss}} \quad (5)$$

Den Wärmeaustausch zwischen Festkörpern und Flüssigkeiten lässt sich auch mit der Wärmelehre beschreiben. Wenn man zum Beispiel einen Körper mit hoher Temperatur in ein kaltes Wasserbad tieferer Temperatur taucht, so wird sich das Wasser erhitzen und am Ende werden der Festkörper und das Wasser beide dieselbe Endtemperatur haben. In diesem Fall kann die folgende Gleichung aufstellen:

$$\Delta Q_K = c_K \cdot m_K \cdot (\vartheta_K - \vartheta) \quad (6)$$

$$\Delta Q_W = c_W \cdot m_W \cdot (\vartheta - \vartheta_W) \quad (7)$$

$$c_K = c_W \cdot \frac{m_W \cdot (\vartheta - \vartheta_W)}{m_K \cdot (\vartheta_K - \vartheta)} \quad (8)$$

Wobei ΔQ_K für den Wärmeänderung des Körpers steht, c_K ist die spezifische Wärmekapazität des Festkörpers, m_K die Masse des Körpers, ϑ_K ist die Anfangstemperatur des Körpers und ϑ die gemeinsame Gesamttemperatur. Dasselbe lässt sich für die Flüssigkeit aussagen und somit steht Q_W für die Wärmeänderung des Wassers, c_W für die spezifische Wärmekapazität von Wasser, m_W für das Gewicht des Wassers, ϑ_W für die Anfangstemperatur des Wassers und ϑ wieder für die gemeinsame Gesamttemperatur.

2 Grundprogramm: Heizen von Wasser

Im Grundprogramm war es die Aufgabe Wasser aufzuheizen und mit den benötigten Daten die spezifische Wärmekapazität von Wasser zu berechnen.

2.1 Aufbau

Der Versuchsaufbau bestand aus einem Stromkreis mit dem Tauchsieder, welcher in einem Gefäß gefüllt mit Wasser weilte. In diesem Gefäß war ausserdem ein Thermometer platziert um die Temperatur der Flüssigkeit abzulesen, sowie ein Rührer, welchen man von Hand betätigen musste. Das Gefäß war mit EPS isoliert um Wärmeverluste zu vermeiden, diese Wärmeverluste konnten jedoch nicht ausgeschlossen werden. (Zu den Wärmeverlusten kommen wir im Wahlversuch "Wärmeverluste" noch einmal.) Der Stromkreis bestand aus einer Spannungsquelle, dem Netzteil, sowie einem Schalter und dem schon genannten Tauchsieder, welcher durch einen elektrischen Widerstand wärme produzierte. Der Tauchsieder selbst bestand aus einem gewickelten Konstantan Draht mit bestimmter Länge, welchen wir zuvor selbst abgeschnitten und gewickelt hatten. Nun wurde das Gefäß mit IT-Wasser bestimmter Masse gefüllt und ein EPS-Deckel aufgesetzt.

Es wurde nun mit einem anderen Thermometer die Raumtemperatur gemessen und mit dem Thermometer im isolierten Becherglas die Anfangstemperatur des Wassers gemessen und dann das Wasser für genau 5 Minuten erhitzt mit bekanntem elektrischer Leistung.

2.2 Ergebnisse

Wir starteten mit einer Anfangstemperatur von $(22, 2 \pm 0,5) \text{ }^\circ\text{C}$, nach Erhitzung des Wassers für (300 ± 1) Sekunden hatte das Wasser eine Temperatur von $(32, 3 \pm 0,5) \text{ }^\circ\text{C}$, also eine Temperaturdifferenz von $(10, 1 \pm 1) \text{ K}$. Das erhitzte Wasser hatte eine Masse von $(310, 7 \pm 0, 1) \text{ g}$ und das Netzteil zeigte für die Fließende Spannung $(15, 00 \pm 0, 01) \text{ V}$ und für die Stromstärke $(3, 40 \pm 0, 05) \text{ A}$ an. Nun setzten wir alle erhaltenen Werte in diese Gleichung ein:

$$\Delta Q = U \cdot I \cdot \Delta t \quad (9)$$

Wir erhielten für ΔQ , also der Wärme, $(15, 3 \pm 0, 3) \text{ kJ}$ und errechneten daraus mit der Nachfolgenden Gleichung die spezifische Wärmekapazität für Wasser.

$$c = \frac{U \cdot I \cdot \Delta t}{m \cdot \Delta \vartheta} \quad (10)$$

Für diese erhielten wir $(4, 88 \pm 0, 33) \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

2.3 Diskussion

Die von uns Erhaltene Wärmekapazität ist einiges höher als der Literaturwert von $4, 182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Wir erhielten stattdessen $(4, 88 \pm 0, 33) \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ und selbst mit der Fehlergrenze kommen wir nicht an diesen Literaturwert heran. Der Grund ist die Vernachlässigung der Wärmeverluste. Wir haben jetzt die Wärmekapazität für das Wasser mit Becherglas und EPS Isolierung berechnet. Deshalb ist der von uns berechnete Wert viel zu hoch.

3 Wahlversuche

3.1 Wärmeverluste

In diesem ersten Wahlversuch ging es darum die von uns berechnete spezifische Wärmekapazität mit den Wärmeverlusten zu verbessern und hoffentlich näher an den Literaturwert heran zu kommen. Die Wärmeverluste beim Grundversuch lassen sich unter einigen Annahmen auch nachträglich noch berechnen. Zuerst nehmen wir an, dass sich das Becherglas gleich erhitzt hat wie das Wasser, also die selbe Endtemperatur hat. Dann kann man die aufgenommene Wärme vom Becherglas berechnen mit dessen spezifischen Wärmekapazität, diese wäre bei Glas $(0, 91 \pm 0, 1) \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

Die zweite Annahme bezieht sich auf die EPS-Isolierung selbst. Dort kann man annehmen, dass die Endtemperatur des EPS der Mittelwert zwischen der Endtemperatur des Wassers und der Zimmertemperatur ist. Die spezifische Wärmekapazität von EPS ist $(1, 3 \pm 0, 1) \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

3.1.1 Ergebnisse

Für die aufgenommene Wärme des Becherglases errechneten wir $(2,56 \pm 0,4)$ kJ, für die EPS-Umhüllung $(0,22 \pm 0,02)$ kJ. Mit diesen errechneten wir den verbesserten Wert für die spezifische Wärmekapazität des Wassers.

$$\Delta Q_{\text{effektiv}} = \Delta Q_{\text{zugeführt}} - \Delta Q_{\text{Gefäß}} \quad (11)$$

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta \vartheta} \quad (12)$$

Für die ΔQ^* erhielten wir $(12,5 \pm 0,8) \text{ kJ}$ und für c^* $(3,99 \pm 0,45) \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

3.1.2 Diskussion

Den verbesserten Wert für die spezifische Wärmekapazität von Wasser ist schon sehr nahe am Literaturwert und dieser liegt in den Fehlergrenzen des verbesserten Wertes. Es ist deshalb sehr wichtig die Wärmeverluste zu erfassen um einen genauen Wert zu berechnen für die spezifische Wärmekapazität. Man kann auch sagen die Wirksamkeit der Erfassung der Wärmeverluste ist sehr gross.

3.2 Wärmeaustausch von Schrot auf Siedetemperatur

Im letzten Teil dieses Praktikums schauten wir uns noch den Wärmeaustausch zwischen Festkörpern und Flüssigkeiten an. Das Endziel war es die spezifische Wärmekapazität von Kupferschrot zu berechnen.

3.2.1 Aufbau und Ablauf

Wir füllten das Glasgefäß von vorhin mit kaltem Wasser und massen dessen Temperatur und Masse. Die spezifische Wärmekapazität von Wasser konnten wir aus der Literatur entnehmen, diese wäre $4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Anschliessend massen wir die Masse des Kupferschrotes und erhitzen dies in einem Erlenmeyerkolben mit siedendem Wasser über einer Gasflamme. Sobald sich keine Tröpfchen mehr am Schrot bildeten hatte dies die Siedetemperatur des Wassers (98°C). Sobald dies der Fall war wurde das Schrot aus dem Erlenmeyerkolben genommen und sofort ins kalte Wasser getaucht. Nun musste man vorsichtig mit dem Thermometer rühren und die gemeinsame Maximaltemperatur aufschreiben. Mit dieser und den anderen Daten liess sich die spezifische Wärmekapazität von Kupfer berechnen.

3.2.2 Ergebnisse

Als maximale Gesamttemperatur erhielten wir $(21 \pm 0,5)^\circ \text{C}$ und daraus ergab sich eine Temperaturdifferenz von $(2 \pm 1) \text{ K}$. Das Wasser hatte eine Masse von $(295,7 \pm 0,2) \text{ g}$ und der Kupferschrot von $(87,7 \pm 0,1) \text{ g}$. Für die spezifische Wärmekapazität von Kupfer erhielten wir $(0,36 \pm 0,1) \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

3.2.3 Diskussion

Der Literaturwert der spezifischen Wärmekapazität von festem Kupfer ist $0,382 \frac{kJ}{kg \cdot K}$, was unserem Wert von $(0,36 \pm 0,1) \frac{kJ}{kg \cdot K}$ sehr nahe kommt. Die kleineren Abweichungen könnten entstanden sein durch Vernachlässigung der Wärmeverluste und der Ungenauigkeit des Thermometers, welches die Temperatur nur auf ganze Gradzahlen angab.