

D206

Wärmepumpe

Tahir Kamcili
tahir.kamcili@udo.edu

Marina Andreß
marina.andress@udo.edu

Durchführung: DATUM

Abgabe: 03.11.2020

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theoretische Grundlage	3
3	Vorbereitung	4
4	Versuchsaufbau	5
5	Versuchsdurchführung	6
5.1	Statische Methode	6
5.2	Dynamische Methode	7
6	Auswertung	8
6.1	Statische Methode	8
6.1.1	Temperaturverläufe der fernen Thermoelemente	8
7	Diskussion	9

1 Zielsetzung

Im Versuch 'Wärmeleitung von Metallen' wird die Wärmeleitung von Aluminium, Messing und Edelstahl untersucht, um daraus die Wärmeleitfähigkeit dieser Metalle zu bestimmen.

2 Theoretische Grundlage

Bei einem System Temperaturunterschied im System kommt es zu einem Wärmetransport entlang des Temperaturgefälles. Hier wird unterschieden zwischen Konvektion, Wärmestrahlung und Wärmeleitung, wobei sich hier auf die Wärmeleitung beschränkt wird.

Wenn die Enden eines Stabes der Länge L , der Querschnittsfläche A , der aus einem Material mit der spezifischen Wärme c und der Dichte ρ besteht, unterschiedlicher Temperatur sind, fließt in der Zeit dt durch A die Wärmemenge

$$dQ = -\kappa A \frac{\delta T}{\delta x} dt. \quad (1)$$

Dabei ist κ die vom Material abhängige Wärmeleitfähigkeit. Das Minuszeichen ergibt sich daraus, dass der Wärmestrom entlang des Temperaturgefälles fließt. Für die Wärmestromdichte j_w ergibt sich

$$j_w = -\kappa \frac{\delta T}{\delta x} \quad (2)$$

Hieraus kann die Wärmeleitungsgleichung aus der Kontinuitätsgleichung abgeleitet werden:

$$\frac{\delta T}{\delta t} = \frac{\kappa}{\rho c} \frac{\delta^2 T}{\delta x^2}. \quad (3)$$

Diese gibt die räumliche- und zeitliche Entwicklung der Temperaturverteilung an. Dabei ist $\sigma_T = \frac{\kappa}{\rho c}$ die Temperaturleitfähigkeit, die ein Maß für die Geschwindigkeit des Temperatúrausgleichs ist.

Wenn ein Stab periodisch abwechselnd erhitzt und abgekühlt wird, breitet sich eine räumliche und zeitliche Temperaturwelle im Stab aus. Diese kann wie folgt beschrieben werden:

$$T(x, t) = T_{\max} e^{\sqrt{\frac{\omega \rho c}{2\kappa}} x} \cos(\omega t - \sqrt{\frac{\omega \rho c}{2\kappa}} x) \quad (4)$$

Die Phasengeschwindigkeit mit der sich die Welle fortbewegt ergibt sich zu:

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{\omega}{\sqrt{\frac{\omega \rho c}{2\kappa}}} = \sqrt{\frac{2\kappa \omega}{\rho c}} \quad (5)$$

Aus dem Amplitudenverhältnis von A_{nah} und A_{fern} an zwei Messstellen x_{nah} und x_{fern} an der Welle wird die Dämpfung ermittelt. Wird nun berücksichtigt, dass $\omega = \frac{2\pi}{T'}$ (mit Periodendauer T') und für die Phase $\Phi = \frac{2\pi\Delta t}{T'}$ ergibt sich für die Wärmeleitfähigkeit

$$\kappa = \frac{\rho c (\Delta x)^2}{2\Delta t \ln\left(\frac{A_{\text{nah}}}{A_{\text{fern}}}\right)} \quad (6)$$

mit dem Abstand der beiden Messstellen Δx und der Phasendifferenz Δt der Temperaturwelle zwischen den beiden Messstellen.

3 Vorbereitung

Vor der Durchführung ist sich anhand der Literatur über die Dichte ρ , die spezifische Wärme c und die Wärmeleitfähigkeit κ für Aluminium, Messing und Edelstahl zu informieren. Diese Werte wurden in Tabelle (1) zusammengetragen:

Material	$\rho / \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$c / \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$	$\kappa / \frac{\text{W}}{\text{m K}}$
Aluminium	2700	896	221
Messing	8730	384	142
Edelstahl	8000	500	21

Tabelle 1: Literaturwerte

4 Versuchsaufbau

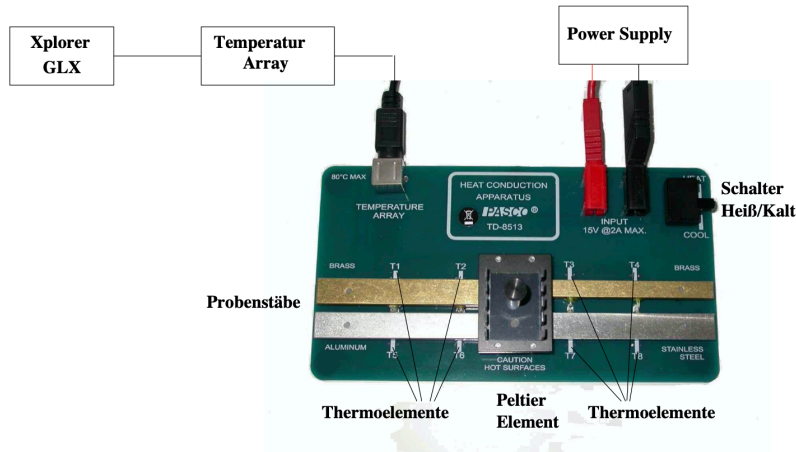


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau.

In der Abbildung (1) ist das Experiment zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit zu sehen. Auf der Grundplatte befinden sich vier rechteckige Probenstäbe unterschiedlicher Art. Darunter einer aus Aluminium, einer aus Edelstahl und zwei unterschiedlicher Breite aus Messing. Die Probenstäbe können mithilfe des Peltierelements durch betätigen des Schalters abwechselnd gekühlt oder erhitzt werden. An das Peltierelement wird für die statische Methode eine Spannung von $U_P = 5V$ und für die dynamische Methode eine Spannung von $U_P = 8V$ angelegt. Pro Stab gibt es zwei Thermoelemente mit denen die Temperatur an der jeweiligen Stelle gemessen werden kann. Die Temperaturen und Temperaturverläufe werden über ein 'Temperatur Array' an einen Datenlogger (Xplorer GLX) weitergegeben und können dort eingesehen, bearbeitet und graphisch dargestellt werden. Außerdem wurde separat eine Stoppuhr zur Verfügung gestellt. Diese Daten (2) für die Probenstäbe wurden bereitgestellt:

Material	Abmessungen /cm	$\rho / \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$c / \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$
Messing (breit)	9 x 1.2 x 0.4	8520	385
Messing (schmal)	9 x 0.7 x 0.4	8520	385
Aluminium (breit)	9 x 1.2 x 0.4	2800	830
Edelstahl (breit)	9 x 1.2 x 0.4	8000	400

Tabelle 2: Daten der Probenstäbe

5 Versuchsdurchführung

Vorerst wird die Verkabelung überprüft. Der Abstand Δx der Messstellen zwischen den Thermoelementen wird mithilfe eines Lineals mit der Messunsicherheit $\Delta s = \pm 0.05\text{cm}$ gemessen.

Diese Abstände wurden gemessen (7)

$$\Delta x_{T1T2} = 2.9\text{cm}$$

$$\Delta x_{T3T4} = 3.0\text{cm}$$

$$\Delta x_{T5T6} = 3.1\text{cm}$$

$$\Delta x_{T7T8} = 3.1\text{cm}$$

Es werden Messungen verschiedener Methoden durchgeführt.

5.1 Statische Methode

Bei der statischen Methode wird die Temperatur als Funktion der Zeit an den zwei Messstellen pro Stab gemessen, um über den zeitlichen Temperaturverlauf die Wärmeleitfähigkeit zu bestimmen.

Hierzu wird zunächst die Abtastrate Δt_{GLX} am Datenlogger auf 5s gesetzt. Unter Menüpunkt Digital werden die Temperaturen aller acht Sensoren eingesehen. Die Isolierung wird auf die Stäbe gelegt. Nun wird bei maximalem Strom eine Spannung von 5V angelegt und der Schalter wird von 'COOL' auf 'HEAT' umgelegt, während die Messung auf dem Xplorer GLX gestartet wird. Die Messung wird beendet, wenn die Temperatur des Thermoelements T7 45 Grad anzeigt. Die Messergebnisse werden mit einem zur Verfügung gestellten Stick zur Weiterverarbeitung der Daten gesichert. Die Isolierung wird abgenommen und der Schalter wird auf 'COOL' umgelegt. Die Probenstäbe werden so lange gekühlt, bis jedes Thermoelement eine Temperatur von 30 Grad oder kälter hat. Um längeren Wartezeiten vorzubeugen wurde die Platine mit einer nicht benutzten Platine ausgetauscht.

5.2 Dynamische Methode

Bei der Angström Methode wird die Wärmeleitfähigkeit aus der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Temperaturwelle berechnet, die sich ergibt, wenn ein Probenstab periodisch geheizt wird.

Dazu wird die Abtastrate Δt_{GLX} am Datenlogger auf 2s gesetzt. Im Unterverzeichnis Digital wird überprüft, ob die Probenstäbe an jeder Messstelle hinreichend abgekühlt sind (30 Grad oder kälter). Die Isolierung wird auf die Stäbe gelegt und die Messung wird gestartet, sobald eine Spannung von 8V angelegt wird. Die Probenstäbe werden daraufhin mit einer Periode von 80s geheizt. Der Schiebeschalter wird zu Beginn der Messung 40s auf 'HEAT' gestellt und danach 40s auf 'COOL' gestellt. Als Hilfsmittel wird hier die Stoppuhr verwendet. Die Messung wird nach 11 Perioden beendet und die Daten per Stick gesichert. Die Isolierung wird abgenommen und der Schalter bleibt auf 'COOL'.

Nachdem die Platine wieder aufgrund der langen Abkühlzeit der Probenstäbe ausgetauscht wurde, wird eine neue Messung gestartet. Dabei wird der eben beschriebene Vorgang wiederholt, allerdings mit einer Periode von 200s. Dafür werden die Stäbe 100s erhitzt und anschließend 100s gekühlt. Hierfür wird wieder eine Stoppuhr verwendet. Die Messung wird beendet, wenn eins der Thermoelemente eine Temperatur von über 80 Grad erreicht, was nach 4 Perioden der Fall war. Die Daten werden gesichert und alle Gerätschaften abgeschaltet, sobald die Stäbe abgekühlt sind. Alle Messvorgänge sind nun beendet.

6 Auswertung

6.1 Statische Methode

Bei der statischen Methode wird jeweils an zwei Stellen eines jeden Metallstabes die Temperatur als Funktion der Zeit gemessen und über den zeitlichen Temperaturverlauf wird an den beiden Messstellen die Wärmeleitfähigkeit der vier Metallstäbe bestimmt.

6.1.1 Temperaturverläufe der fernen Thermoelemente

Im folgenden befindet sich eine Grafik für die fernen Thermoelemente. Dabei misst das Thermoelement T_1 second an dem dicken Messingstück und T_4 second am dünnen. T_5 second und T_8 second sind jeweils am Aluminium und Edelstahl befestigt.

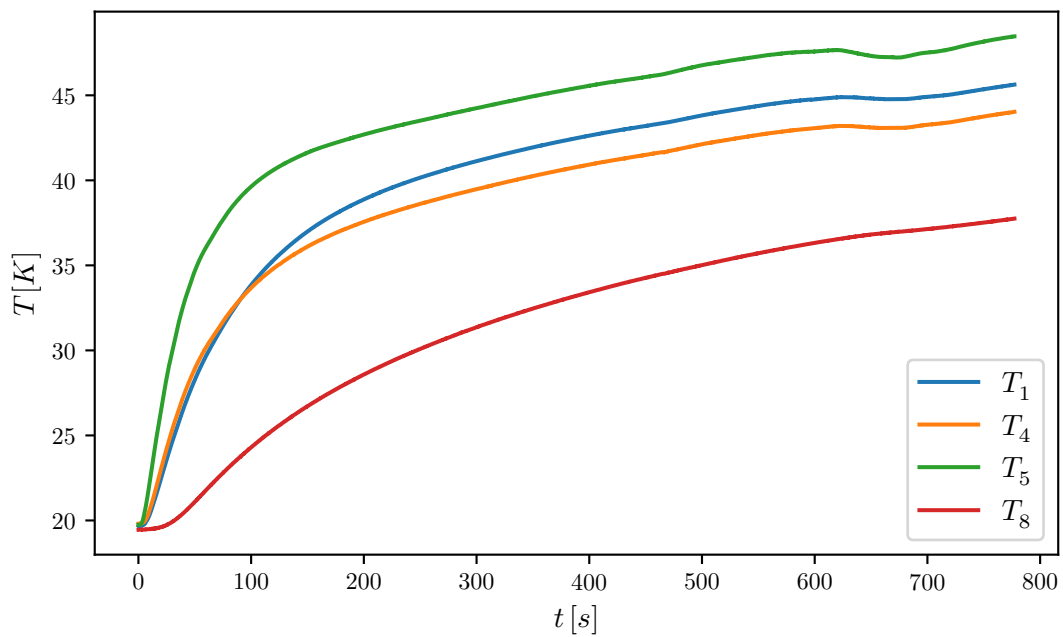


Abbildung 2: Temperaturverläufe der fernen Thermoelemente T_1 , T_4 , T_5 , T_8

Es fällt auf, dass T_1 und T_4 ungefähr von $t = 0$ second bis $t = 100$ second gleichstark steigen, jedoch steigt die Temperatur von T_5 deutlich steiler und von T_8 deutlich flacher als die gemessene Temperatur der anderen Thermoelemente. Zudem ist bei allen Thermoelementen, außer bei T_8 , ab $t = 600$ second ein starker Knick zu beobachten.

7 Diskussion

Während der Durchführung des Versuchs sind einige Fehlerquellen aufgefallen, die die Ergebnisse beeinflussen. Beim auflegen der Isolierung auf die Probenstäbe fiel auf, dass die Isolierung die Probenstäbe nicht vollständig bedeckt. Dadurch ist der Wärmeaustausch, der mit der Umgebung statt findet, noch schlechter zu verhindern.

Außerdem birgt das manuelle stoppen der Zeit und gleichzeitigem umlegen des Schalters von 'COOL' auf 'HEAT' bei der dynamischen Methode eine Messunsicherheit, da es hier auch auf die Reaktionszeit ankommt. Daher ist davon auszugehen, dass die exakten Perioden nicht eingehalten wurden und minimal unregelmäßig gemessen wurde.

Zudem wurden die Platinen im Laufe des Versuchs zweimal ausgetauscht, da diese die Probenstäbe nicht ausreichend gekühlt haben. Da die unterschiedlichen Platinen möglicherweise voneinander abweichende Ergebnisse hervorrufen, zum Beispiel durch ein unterschiedlich schnell oder ungleichmäßig heizendes Peltierelement, muss auch hier ein Fehler in betracht gezogen werden.

Möglich ist auch ein Fehler durch Schwankungen der an der Platine anliegenden Spannung aufgrund von technischen Mängeln der Spannungsquelle.

Die Ergebnisse aus (7) wurden mit einem Lineal gemessen und die Messunsicherheit wurde auf $\Delta s = \pm 0.05\text{cm}$ geschätzt. Beim weiterrechnen mit diesen Werten pflanzt sich der Fehler natürlich fort.

Des Weiteren gab es auch bei der Messung große Probleme. Es wurden am Ende Messergebnisse einer anderen Gruppe verwendet, da die ermittelten Daten nicht vollständig gespeichert wurden und so alle Messungen hinfällig waren.