

D206

## **Wärmepumpe**

Tahir Kamcili  
tahir.kamcili@udo.edu

Marina Andreß  
marina.andress@udo.edu

Durchführung: DATUM

Abgabe: 03.11.2020

# Inhaltsverzeichnis

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

## 1 Zielsetzung

Mit dem Versuch „Wärmeleitung von Metallen“ soll die Wärmeleitung von Aluminium, Messing und Edelstahl untersucht werden, um daraus die Wärmeleitfähigkeit dieser Metalle zu bestimmen.

## 2 Theoretische Grundlage

Befindet sich in einem System ein Temperaturunterschied, kommt es zu einem Wärmetransport entlang des Temperaturgefälles. Dies geschieht entweder durch Konvektion, Wärmestrahlung oder Wärmeleitung, wobei wir uns hier auf die Wärmeleitung beschränken.

Betrachtet wird ein Stab der Länge  $L$ , der Querschnittsfläche  $A$ , dessen Material die Dichte  $\rho$  und spezifische Wärme  $c$  hat. Wenn die Enden des Stabes unterschiedlicher Temperatur sind, so fließt in der Zeit  $dt$  durch die Querschnittsfläche  $A$  die Wärmemenge

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

Dabei ist  $\kappa$  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. Die Größe  $\sigma_T = \frac{\kappa}{\rho c}$ , die als Temperaturleitfähigkeit bezeichnet wird, gibt an, wie schnell sich der Temperaturunterschied ausgleicht. Die Lösung dieser Differentialgleichung hängt von der Stabgeometrie und den Anfangsbedingungen ab.

Wird nun ein langer Stab mit der Periode  $T$  abwechseln erhitzt und abgekühlt, 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  $A_{\text{nah}}$  und  $A_{\text{fern}}$  an zwei Messstellen  $x_{\text{nah}}$  und  $x_{\text{fern}}$  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  $\Delta x$  und der Phasendifferenz  $\Delta t$  der Temperaturwelle zwischen den beiden Messstellen.

### 3 Vorbereitung

Vor der Durchführung ist sich anhand der Literatur über die Dichte  $\rho$ , die spezifische Wärme  $c$  und die Wärmeleitfähigkeit  $\kappa$  für Aluminium, Messing und Edelstahl zu informieren. Folgende Werte wurden 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

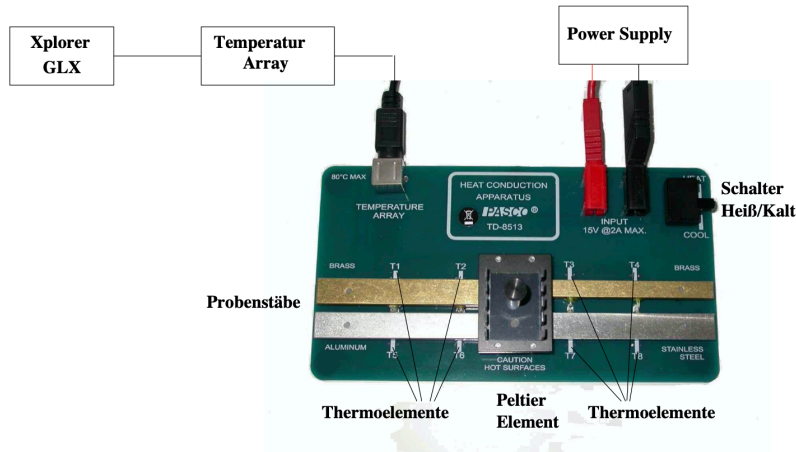


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau.

In der Abbildung ist das Experiment zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit zu sehen. Auf der Grundplatte befinden sich vier rechteckige Probenstäbe, 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. Die Betriebsspannung des Peltierelements ist für die statische Methode  $U_P = 5V$  und für die dynamische Methode  $U_P = 8V$ . 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 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  $\Delta x$  der Messstellen zwischen den Thermoelementen wird mithilfe eines Lineals mit der Messunsicherheit  $\Delta s = \pm 0.05\text{cm}$  gemessen.

$\Delta x_{T1T2} = 2.9\text{cm}$	<i>reference</i>
$\Delta x_{T3T4} = 3.0\text{cm}$	<i>reference</i>
$\Delta x_{T5T6} = 3.1\text{cm}$	<i>reference</i>
$\Delta x_{T7T8} = 3.1\text{cm}$	<i>reference</i>

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  $\Delta t_{\text{GLX}}$  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  $\Delta t_{\text{GLX}}$  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.

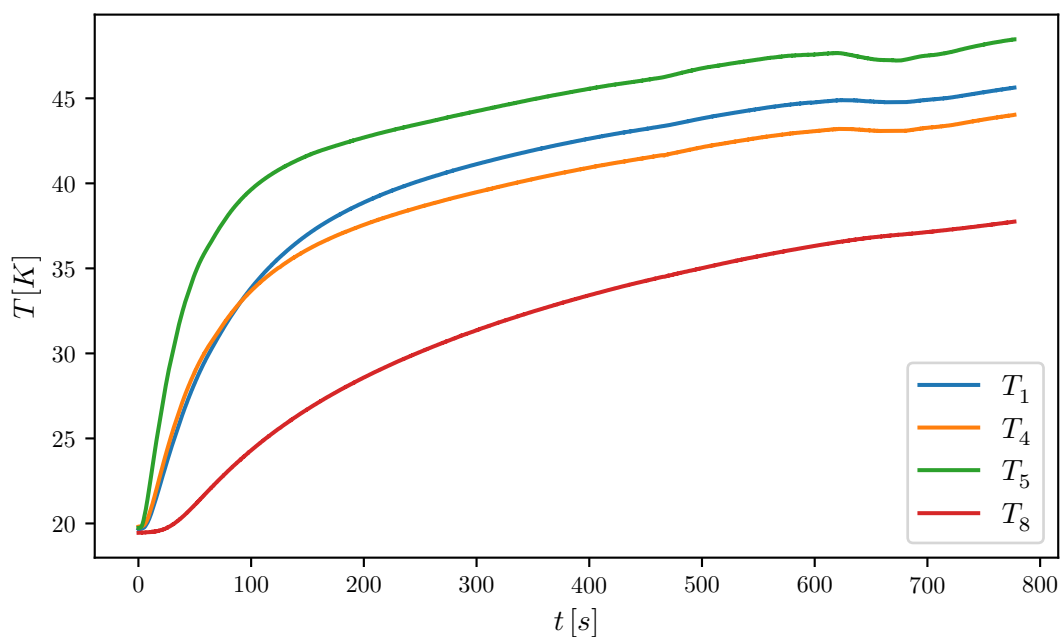
## 6 Auswertung

### 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