

# Versuchsprotokoll zum Versuch Nr. XXX

**XXX**

Johannes Kollek	Jean-Marco Alameddine
johannes.kollek@udo.edu	jean-marco.alameddine@udo.edu

Durchführung: xx.xx.2015

TU Dortmund – Fakultät Physik

# 1 Zielsetzung

Im Folgenden Experiment wird das Phänomen der Wärmeleitung anhand von mehreren Metallen betrachtet. Dabei soll der zeitliche Temperaturverlauf sowie das Verhalten unter einer periodischen Anregung betrachtet werden. Zudem wird die Wärmeleitfähigkeit mithilfe der Angström-Methode für Aluminium, Messing sowie Edelstahl bestimmt.

## 2 Theorie

### 2.1 Herleitung der eindimensionalen Wärmeleitungsgleichung

Existiert an einem Material, beispielsweise einem Metall, eine Temperaturdifferenz zwischen zwei Orten, so findet erfahrungsgemäß ein Temperatúrausgleich statt. Dieser findet in einem Metall in Form der Wärmeleitung statt, bei der vornehmlich die frei beweglichen Elektronen die Wärme transportieren. Dementsprechend besitzen Metalle bekanntermaßen eine bessere Wärmeleitfähigkeit  $\kappa$  als Nicht-Metalle.

Für einen Stab, an dem eine Temperaturdifferenz anliegt, wird die in einer Zeit  $dt$  durch einen Querschnitt  $A$  fließende Wärmemenge  $dQ$  durch das Verhältnis

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

beschrieben, wobei  $L$  die Länge des betrachteten Stabs beschreibt. Hieraus lässt sich die Wärmestromdichte  $j_w$  als

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

definieren.

Es wird außerdem die Kontinuitätsgleichung

$$\frac{\partial \rho_q}{\partial t} + \nabla \vec{j}_w = 0, \quad (3)$$

betrachtet, wobei  $\rho_q$  die spezifische Wärmemenge  $\frac{dQ}{dV}$  pro Volumen bezeichnet. Die Definition der spezifischen Wärmekapazität

$$c = \frac{dQ}{m dT} \quad (4)$$

ergibt, zusammen mit der eindimensionalen Version der Kontinuitätsgleichung, die eindimensionale Wärmeleitungsgleichung

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\kappa}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (5)$$

Hier beschreibt  $\rho$  nun die Dichte des verwendeten Materials, so dass der Vorfaktor als Materialkonstante

$$\sigma_T = \frac{\kappa}{\rho c} \quad (6)$$

zusammengefasst werden kann. Dieser Wert wird auch als Temperaturleitfähigkeit bezeichnet und gibt Aufschluss darüber, mit welcher Geschwindigkeit ein Temperatúrausgleich stattfindet.

## 2.2 Anregen einer Temperaturwelle durch periodische Wärmeanregung

Das periodische Anregen des Körpers mit Wärme führt zu einer sich im Stab ausbreitenden Temperaturwelle

$$T(x, t) = T_{\max} \exp\left(-\sqrt{\frac{\omega \rho c}{2\kappa}} x\right) \cos\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega \rho c}{2\kappa}} x\right), \quad (7)$$

wobei die Kreisfrequenz

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (8)$$

von der gewählten Periodendauer der Anregung abhängt. Die entstehende Welle weist eine Phasengeschwindigkeit von

$$v = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{2\kappa\omega}{\rho c}} \quad (9)$$

auf, wobei die Wellenzahl  $k$  direkt der oben genannten Wellengleichung entnommen werden kann. Aus der Betrachtung der Dämpfung, also dem Amplitudenverhältnis  $A_1$  zu  $A_2$  an zwei verschiedenen Orten mit Abstand  $\Delta x$ , leitet sich die Wärmeleitfähigkeit

$$\kappa = \frac{\rho c (\Delta x)^2}{2\Delta t \ln \frac{A_1}{A_2}} \quad (10)$$

her. Hierbei beschreibt  $\Delta t$  die Zeit, in der die Welle den Abstand  $\Delta x$  zurücklegt.

## 2.3 Funktionsweise des Peltierelementes

Die periodische Anregung des Stabes wird mithilfe eines Peltierelementes durchgeführt. Dessen Funktionsweise basiert auf dem Peltier-Effekt, für den zwei Arten von Halbleitern mit unterschiedlichen Energieniveaus benötigt werden. Durch das alternierende Anordnen dieser Elemente und des Anlegen einer Spannung fließt ein Strom. Um in das jeweils nächste Leitungsband eintreten zu können, muss aufgrund der Energiedifferenzen der

Leitungsbänder ebendiese Energie aufgenommen oder abgegeben werden. Dies führt jeweils zu Abkühlung oder Erwärmung der Umgebung und kann somit zur Wärmung oder Kühlung genutzt werden. Die Umkehrung der Richtung des Wärmetransportes kann einfach durch Umpolung der Spannung erreicht werden.

### 3 Aufbau und Durchführung

#### 3.1 Aufbau

Gearbeitet wird mit einer Grundplatte wie sie in Abbildung 1 zu sehen ist.

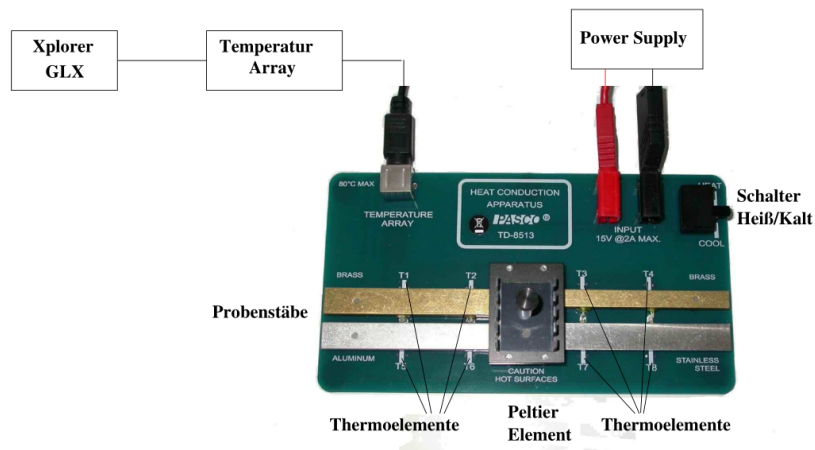


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Untersuchung von Wärmeleitung. [1]

Auf ihr befinden sich vier Probenstäbe, einer aus Aluminium, zwei aus Messing unterschiedlicher Ausdehnung und einer aus Edelstahl. Um diese zu heizen, werden sie einseitig an ein Peltier-Element angeschlossen. Dieses wird an eine Stromquelle angeschlossen. Das Peltier-Element kann bei eingeschalteter Stromquelle je nach Stromrichtung basierend auf dem Peltier-Effekt als Wärmequelle dienen oder der Umgebung Wärme entziehen. Mittels HEAT- und COOL-Kippschalter kann der gewünschte Effekt eingestellt werden. Auf den Probenstäben sind jeweils zwei im Abstand  $\Delta x$  platzierte Thermoelemente, welche alle mit einem Temperaturarray verbunden sind. Über den Xplorer GLX können die Temperaturdaten ausgelesen, geplottet und zum Drucken bereitgestellt werden. Während des Versuchs werden die Probenstäbe über Abdeckkörper aus Schaumstoff hinreichend thermisch isoliert.

## 3.2 Durchführung

### 3.2.1 Statische Methode

Zunächst werden die abgedeckten Probenstäbe über das Peltier-Element aufgeheizt, bis das Thermoelement T7 eine Temperatur von etwa  $T_7 \approx 45^\circ\text{C}$  erreicht. Während dieses Aufheizvorgangs werden alle Temperaturen vom Xplorer GLX aufgenommen. Über ihn werden die Temperaturen  $T_1$  und  $T_4$ , und  $T_5$  und  $T_8$  jeweils gegen die Zeit graphisch dargestellt. Ebenfalls werden die Temperaturdifferenzen  $T_7 - T_8$  und  $T_2 - T_1$  gegen die Zeit abgetragen. Diese Messreihe dient jedoch nur, um qualitative Aussagen über die Wärmeleitfähigkeit der Proben zu gewinnen. Für quantitative Ergebnisse wird das Angström-Verfahren verwendet.

### 3.2.2 Dynamische Methode: Das Angström-Verfahren

Hierzu werden die Probenstäbe, nachdem sie runtergekühlt worden sind, in einer Periode von  $T' = 80\text{ s}$  aufgeheizt und abgekühlt. Dies geschieht über mindestens zehn Perioden. Die Temperaturverläufe des breiten Messingstabes ( $T_1, T_2$ ) und des Aluminiumstabes ( $T_5, T_6$ ) werden nun gegen die Zeit aufgetragen und ausgedruckt. Nach erneutem Kühlen der Proben wird dieses Verfahren mit einer Periode von  $T' = 200\text{ s}$  wiederholt. Diesmal wird der Temperaturverlauf des Edelstahlstabes ( $T_7, T_8$ ) geplottet. Aus diesen Daten kann auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit und somit auf die Wärmeleitfähigkeit der Proben geschlossen werden.

## 4 Auswertung

**Tabelle 1:** Beispieltabelle

$a[\text{s}]$	$b[\text{K}]$
1.0000	11.00
2.0000	12.00
3.0000	13.00
4.0000	14.00
5.0000	15.00
6.0000	16.00
7.0000	17.00
8.0000	18.00
9.0000	19.00
10.0000	20.00

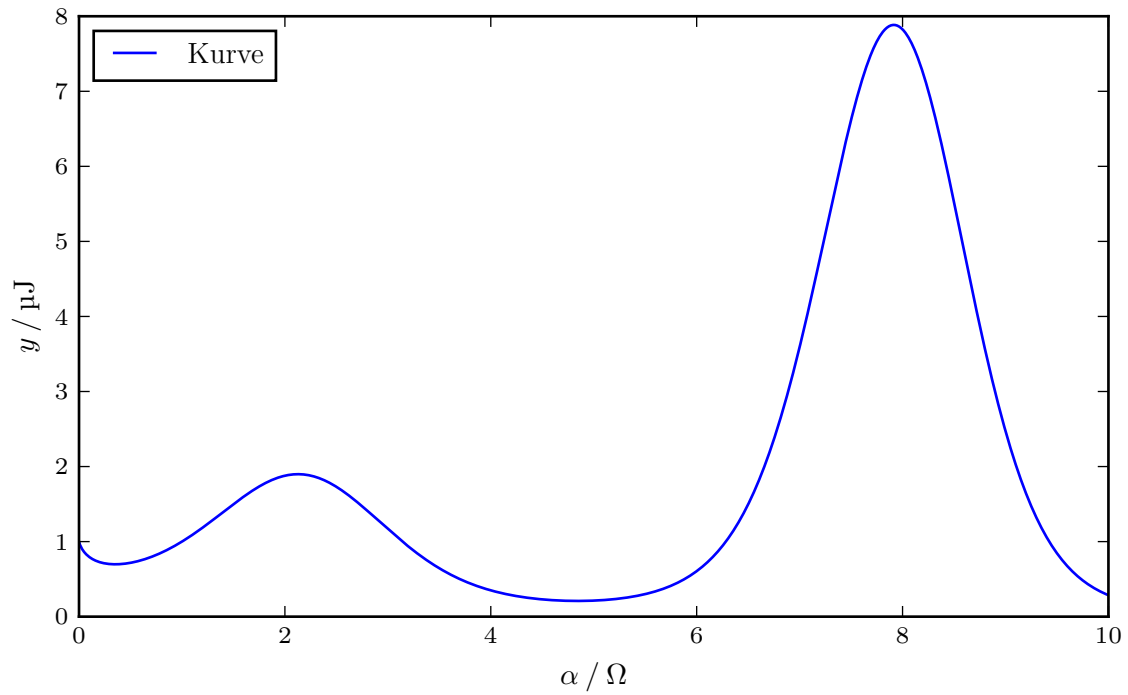


Abbildung 2: Plot.

Es ergibt sich

$$a = (0 \pm 0) \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \quad (11)$$

(12)

## 5 Diskussion

### Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch zum Literaturverzeichnis*. 2012. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V302.pdf>.