Versuch 204

Wärmeleitung von Metallen

Nico Schaffrath
nico.schaffrath@tu-dortmund.de

Mira Arndt
mira.arndt@tu-dortmund.de

Durchführung: 21.01.2020 Abgabe: 28.01.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Ziel

In dem Versuch soll die Wärmeleitfähigkeit von Aluminium, Messing und Edelstahl untersucht werden und anschließend sollen die jeweiligen spezifischen Wärmeleitfähigkeiten bestimmt werden.

2 Theorie

Wenn sich die Temperatur innerhalb eines Körpers nicht in einem Gleichgewichtszustand befindet, trifft ein Wärmetransport in Form von mindestens einer der drei Möglichkeiten Konvektion, Wärmestrahlung und Wärmeleitung auf. Wird ein Stab, mit Länge L, dem Querschnitt A, der Dichte ρ und der spezifischen Wärme c so erhitzt, dass er zum Beispiel an einem Ende wärme ist, als am anderen, so fließt innerhalb der Zeit $\mathrm{d}\,t$ die Wärmemenge

$$\mathrm{d}Q = -\kappa A \frac{\partial T}{\partial x} \mathrm{d}t \tag{1}$$

durch die Querschnittsfläche A. Das Minuszeichen kommt daher, dass Wärme immer vom warmen ins kalte Reservoir fließt. Der Buchstabe κ bezeichnet die gesuchte Wärmeleitfähigkeit, welche materialabhängig ist. In dem vorliegenden eindimensionalen Fall lässt sich die Wärmestromdichte j als

$$j = -\kappa \frac{\partial T}{\partial x} \tag{2}$$

definieren. Weiterhin lässt sich die Wärme innerhalb eines Körpers über [1]

$$Q = mcT \tag{3}$$

berechnen. Werden nun die Gleichungen 2 und 3 in die Kontinuitätsgleichung

$$\frac{\frac{\partial Q}{\partial V}}{\partial t} + \nabla \vec{j} = 0 \tag{4}$$

eingesetzt (V steht für das Volumen), so ergibt sich die eindimensionale Wärmeleitungsgleichung

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

Mithilfe dieser Gleichung lässt sich die räumliche und zeitliche Temperaturentwicklung in dem zu untersuchenden Köper beschreiben. Die Lösung ist abhängig von Anfangsbedingungen und der Stabgeometrie. Weiterhin wird die Temperaturleitfähigkeit, ein Maß zur Angabe, wie schnell ein Temperaturausgleich zustande kommt, als

$$\sigma_T = \frac{\kappa}{\rho c} \tag{6}$$

definiert. Wird ein Stab über die Periode T abwechselnd erhitzt und abgekühlt, ergibt sich die allgemeine Lösung

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

Diese Lösung entspricht einer Temperaturwelle, mit Amplitude T_{max}, welche sich mit der Phasengeschwindigkeit

$$v = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{2\kappa\omega}{\rho c}} \tag{8}$$

in dem Stab ausbreitet. Die Dämpfung dieser Welle lässt sich über das Verhältnis der Amplituden A_1 und A_2 an den Stellen x_1 und x_2 bestimmen. Werden zusätzlich $\omega = \frac{2\pi}{T^*}$ (T^* gibt die Periodendauer der Wärmewelle an) und $\Phi = \frac{2\pi\Delta t}{T^*}$ verwendet, lässt die die Wärmeleitfähigkeit κ über

$$\kappa = \frac{\rho c(\Delta x)^2}{2\Delta t \ln\frac{A_1}{A_2}} \tag{9}$$

errechnet werden. Hierbei gilt

$$\begin{aligned} \Delta x &= x_2 - x_1 \\ \Delta t &= t_2 - t_1. \end{aligned}$$

3 Durchführung

3.1 Allgemein

Bei dem Versuch sind vier Probestäbchen (zwei Messingstäbe mit unterschiedlichen Querschnittsflächen sowie jeweils ein Aluminiumstab und ein Edelstahlstab mit gleichen Querschnittsflächen) auf einer Platte befestigt. Wie der Abbildung **??** entnommen werden kann, werden die Stäbe an einer Seite mithilfe eines Peltierelements simultan erhitzt beziehungsweise abgekühlt. An jedem Stab befinden sich zwei Thermoelemente, mit denen die Temperatur an dem Stab gemessen werden kann. Die Grundplatte ist zusätzlich mit dem 'XPlorer GLX' (Datenlogger) verbunden, welcher die aufgenommenen Daten während der Messung anzeigen, aber auch abspeichern kann. Während der Messung soll die Wärmeisolierung über die Stäbe gelegt werden, damit die Abgabe von Wärme an die Umgebung so gering die möglich gehalten werden kann.

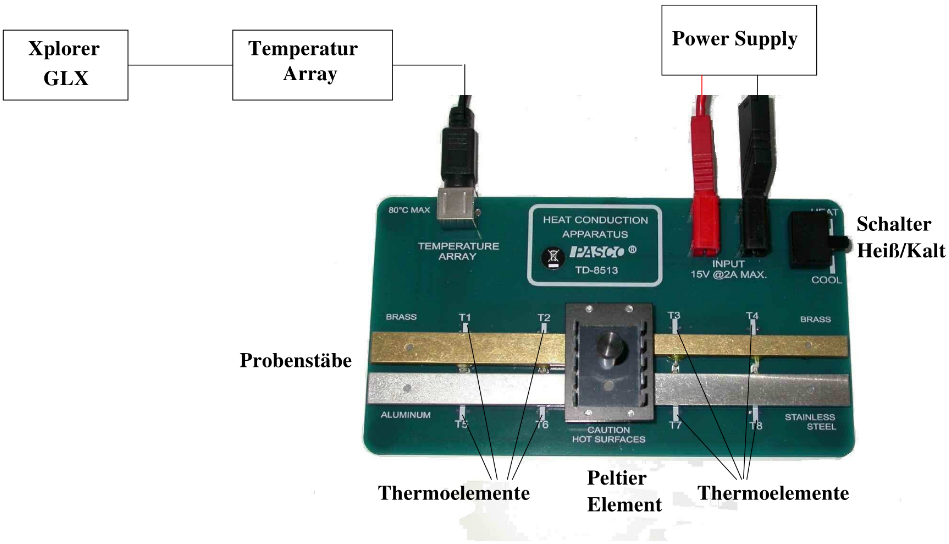


Abbildung 1: NAMENAMENAMENAME

3.2 Statische Methode

Zunächst soll der Abstand der Thermoelemente eines Stabes voneinander gemessen werden. Die Abtastrate des Datenloggers soll auf $\Delta t_{GLX} = 5\,\mathrm{s}$ eingestellt werden. Die mit der Grundplatte verbundene Spannungsquelle soll auf $U_P = 5\,\mathrm{V}$ eingestellt werden. Wenn die Isolierung auf die Stäbe gelegt wurde, kann der Schalter an der Grundplatte auf 'Heat' umgelegt und die Messung gestartet werden. Die Messung soll beendet werden, wenn die Temperatur an Thermoelement T_7 ungefähr 45°C beträgt. Ist dieser Punkt erreicht, so sollen die Isolierungen abgenommen werden und der Schalter an der Grundplatte soll von 'Heat' auf 'Cool' umgelegt werden. Die aufgenommenen Daten, welche auf dem Datenlogger gespeichert wurden, sollen grafisch ausgewertet werden. Erst wenn die Temperatur aller Thermoelemente unter 30°C liegt kann mit der zweiten Messung fortgefahren werden.

4 Auswertung

Siehe Abbildung 2!

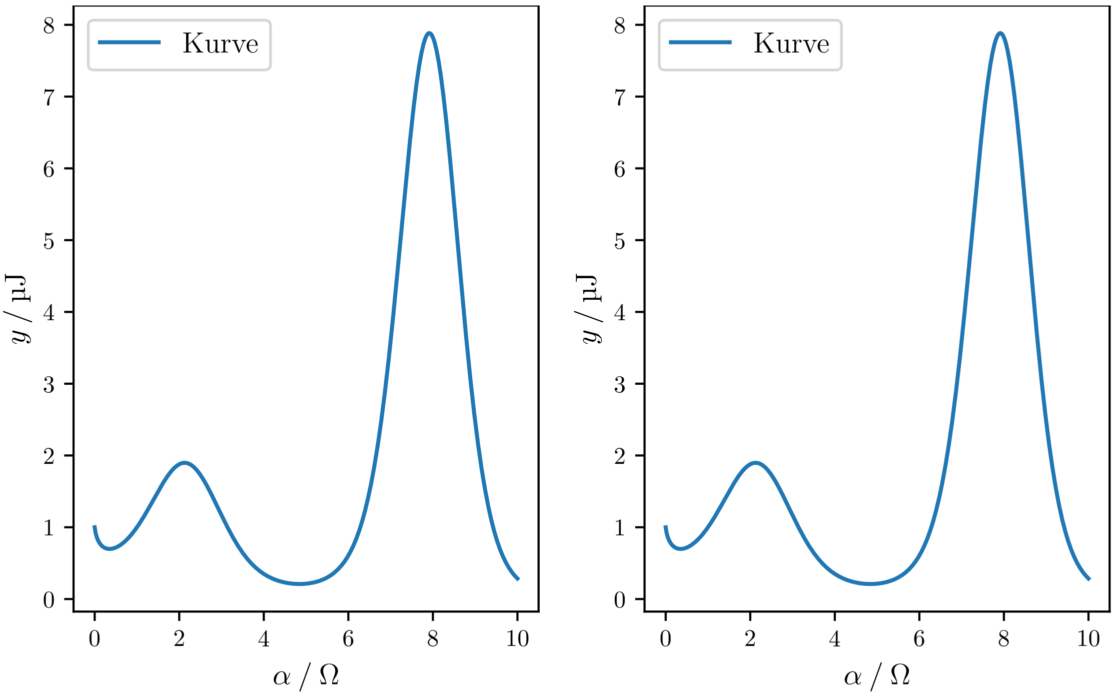
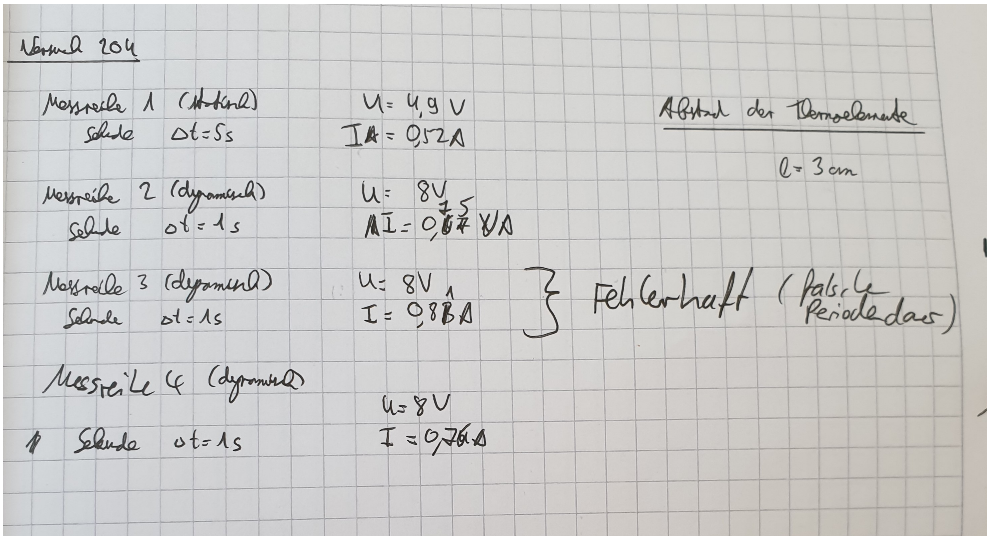


Abbildung 2: Plot.

5 Diskussion

6 Anhang



Literatur

[1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung-Das Dulong-Petitsche Gesetz.*

[2] TU Dortmund. *Versuchsanleitung-Wärmeleitung von Metallen.*

[3] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: `http://matplotlib.org/`.

[4] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python.* Version 0.16.0. URL: `http://www.scipy.org/`.

[5] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties.* Version 2.4.6.1. URL: `http://pythonhosted.org/uncertainties/`.

[6] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: `http://www.numpy.org/`.