

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	3
2	Theorie	3
3	Durchführung	4
3.1	Allgemein	4
3.2	Statische Methode	5
3.3	Dynamische Methode	6
4	Auswertung	7
4.1	statistische Methode	7
4.2	Dynamische Methode	11
5	Diskussion	12
6	Anhang	12
	Literatur	13

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 wärmer ist, als am anderen, so fließt innerhalb der Zeit dt die Wärmemenge

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

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

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

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

$$Q = mcT \quad (3)$$

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

$$\frac{\partial Q}{\partial V} + \nabla \cdot \vec{j} = 0 \quad (4)$$

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

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

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

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

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

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

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

$$v = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{2\kappa\omega}{\rho c}} \quad (8)$$

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

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

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 wie möglich gehalten werden kann.

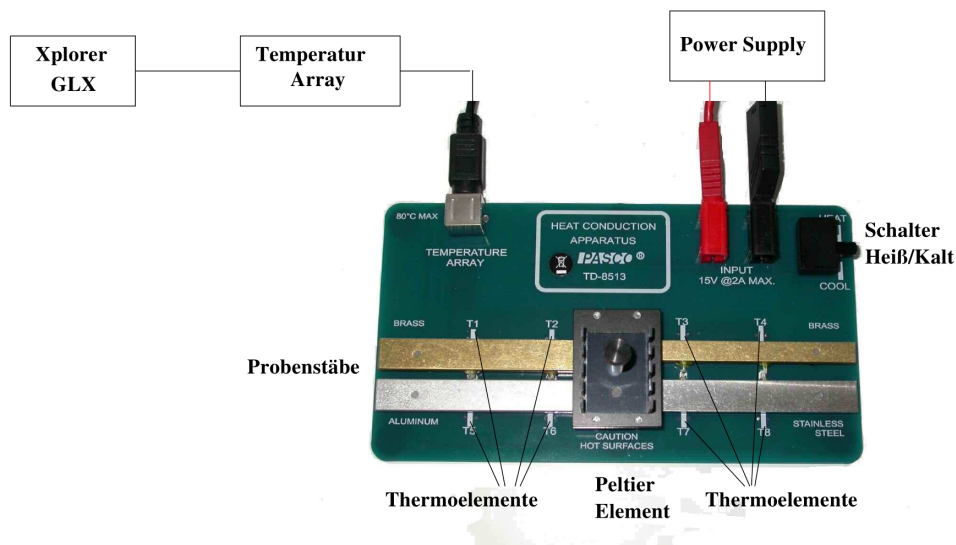


Abbildung 1: NAMENAMENAMENAME

3.2 Statische Methode

Zunächst soll der Abstand der Thermoelemente eines Stabes voneinander gemessen werden. Die Abtastrate des Datenloggers soll auf $\Delta t_{GLX} = 5 \text{ s}$ eingestellt werden. Die mit der Grundplatte verbundene Spannungsquelle soll auf $U_P = 5 \text{ V}$ 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. Über den Temperaturverlauf an den Thermoelementen soll die Wärmeleitfähigkeit der Metalle ermittelt werden. Erst wenn die Temperatur aller Thermoelemente unter 30°C liegt kann mit der zweiten Messung fortgefahren werden.

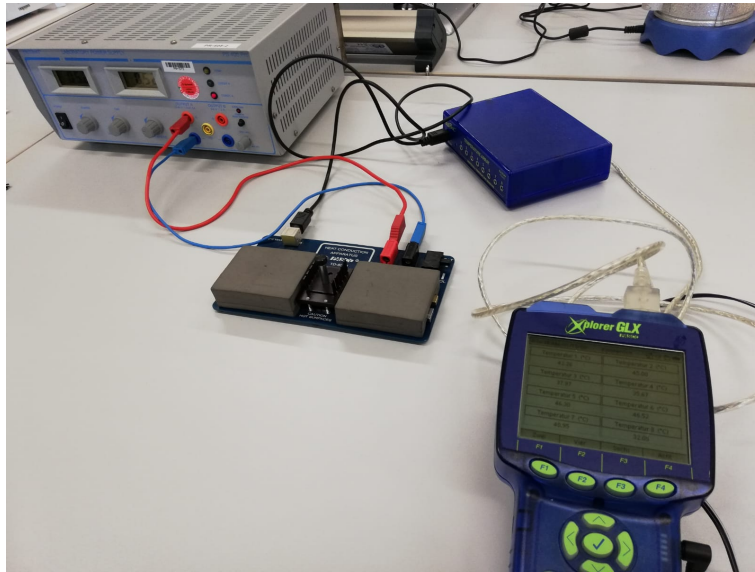


Abbildung 2: NAMENAMENAMENAME

3.3 Dynamische Methode

Im Gegensatz zu der statischen Methode sollen die Stäbe nun periodisch erhitzt und abgekühlt werden. Die Abtastrate am Datenlogger soll auf $\Delta t_{GLX} = 1 \text{ s}$ und die Spannung der Spannungsquelle auf $U_P = 8 \text{ V}$ eingestellt werden. Die Messung soll erst gestartet werden, wenn alle Thermoelemente weniger als 30°C anzeigen. Auch hier sollen während der Messung die Isolierung auf die Stäbe gelegt werden (siehe ??). Die erste Messung soll bei einer Periodendauer von $T = 80 \text{ s}$ durchgeführt werden, das heißt, dass der Schalter nach jeweils 40 s umgeschaltet werden soll. Es sollen mindestens sechs Perioden aufgenommen werden. Nachdem die Messung beendet wurde, sollen die Stäbe wieder bis auf unter 30°C gekühlt werden. Während des Kühlvorgangs können die Isolierungen abgenommen werden. Nachdem sich die Stäbe abgekühlt haben, kann eine zweite Messung durchgeführt werden. Diese unterscheidet sich von der ersten dynamischen Messung dahingehend, dass die Periodendauer auf $T = 200 \text{ s}$ erhöht wird.

4 Auswertung

4.1 statistische Methode

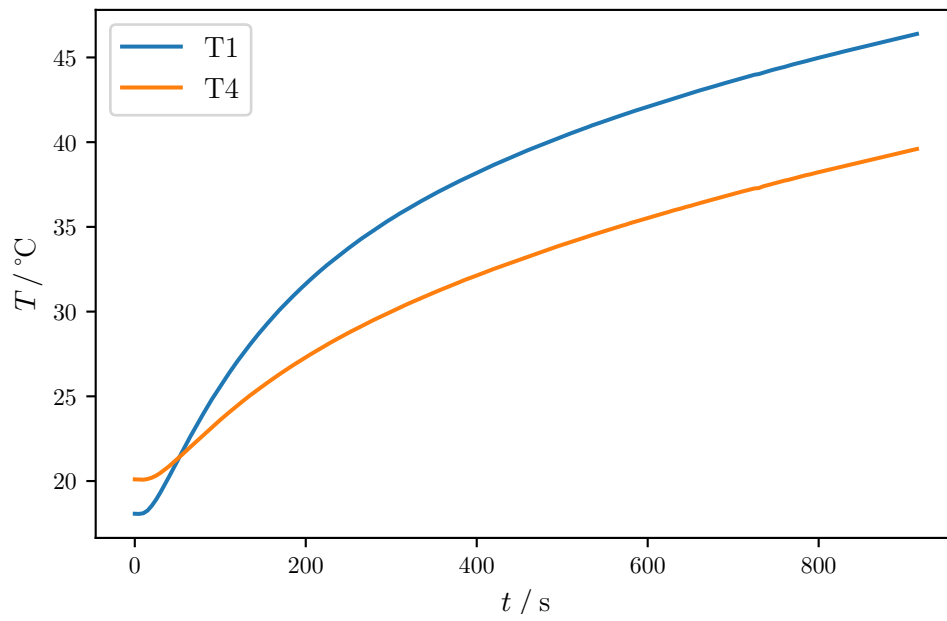


Abbildung 3: Zeitlicher Temperaturverlauf des breiten und dünnen Messingstabes bei der statischen Methode

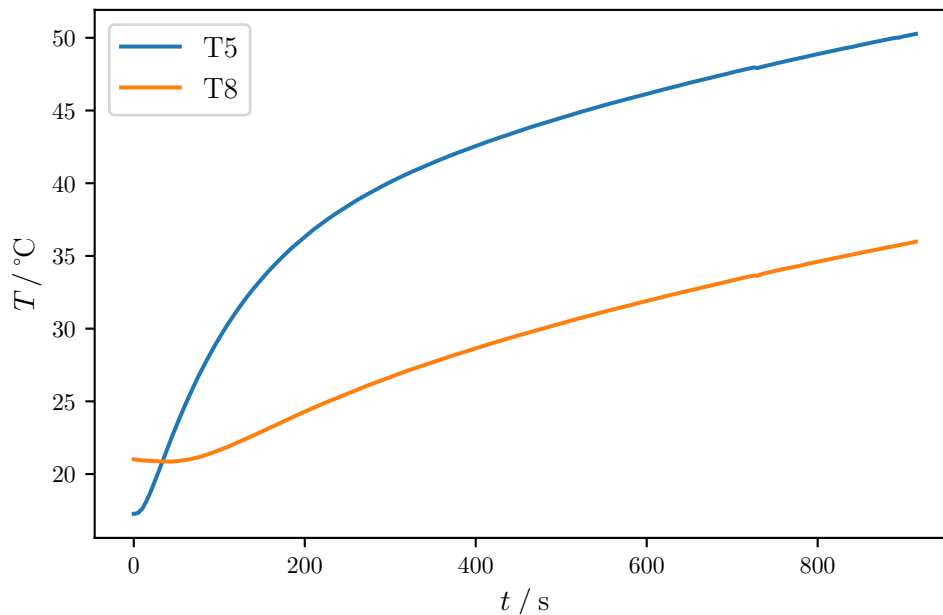


Abbildung 4: Zeitlicher Temperaturverlauf des Aluminium- und Edelstahlstabes bei der statischen Methode

In Abbildung 3 sind die Temperaturverläufe der beiden Messingstäbe aufgetragen. Dabei fällt auf, dass der breite Stab schneller heißer wird als der dünne Stab und sich auf lange Sicht eine Temperaturdifferenz von ca. 7°C einstellt. Auch wenn der dünne Messingstab zu Beginn der Messung eine höhere Starttemperatur von $20,1^{\circ}\text{C}$ als der breite Messingstab ($18,07^{\circ}\text{C}$) hatte, so wurde diese Temperaturdifferenz bereits nach 45 Sekunden ausgeglichen.

In Abbildung 4 sind die Temperaturverläufe des Aluminiumstabes und des Edelstahlstabes aufgetragen. Hierbei wird der Aluminiumstab schneller heiß als der Edelstahlstab. Die Temperaturdifferenz stellt sich auf lange Sicht bei ca. 14°C ein. Auch wenn der Edelstahlstab zu Beginn der Messung eine höhere Starttemperatur von $21,01^{\circ}\text{C}$ als der Aluminiumstab ($17,27^{\circ}\text{C}$) hatte, so wurde diese Temperaturdifferenz sogar schon nach 35 Sekunden ausgeglichen.

generell lässt sich sagen, dass alle Temperaturverläufe ihren größten Anstieg in den ersten 200 Sekunden haben. Dabei steigt die Temperatur des Aluminiums schon nach den ersten Sekunden stark an, während Edelstahl sich erst nach einer Minute merkbar erwärmt. Um beurteilen zu können, welcher Stab die beste Wärmeleitung hat, werden die Temperaturen nach 700 Sekunden verglichen (Siehe Tabelle 1).

Es lässt sich also sagen, dass der Aluminiumstab die beste Wärmeleitung hat.

In den Abbildungen 5 und 6 sind die Temperaturdifferenzen des nahen und fernen Thermoelements des breiten Messingstabes und des Edelstahlstabes gegen die Zeit

Tabelle 1: Temperatur der Thermoelemente nach 700 Sekunden

Thermoelement	$T / ^\circ\text{C}$
T 1	43,62
T 4	36,94
T 5	47,62
T 8	33,32

aufgetragen.

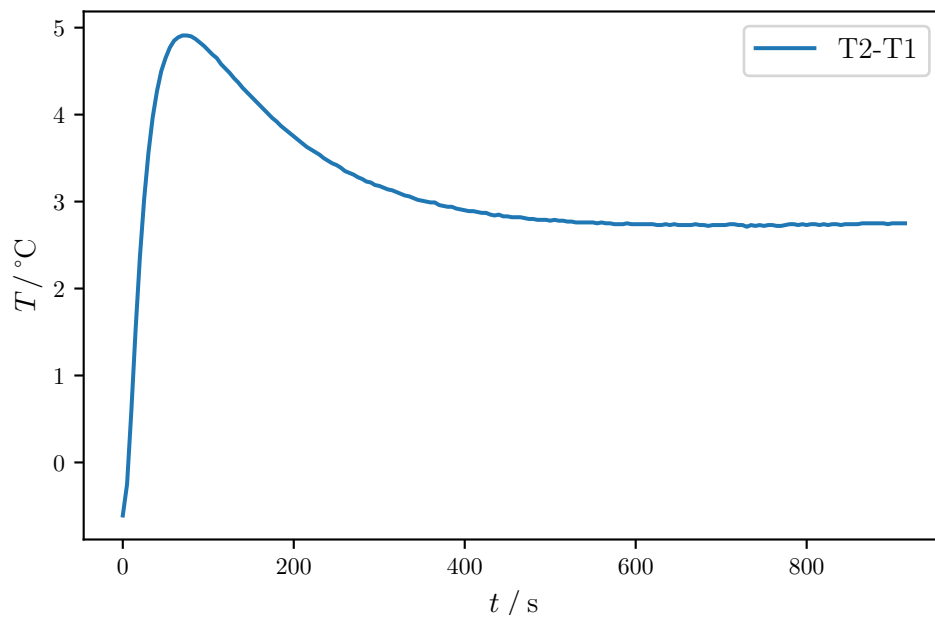


Abbildung 5: Zeitlicher Verlauf der Temperaturdifferenz zwischen T1 und T2 am Messingstab bei der statischen Methode

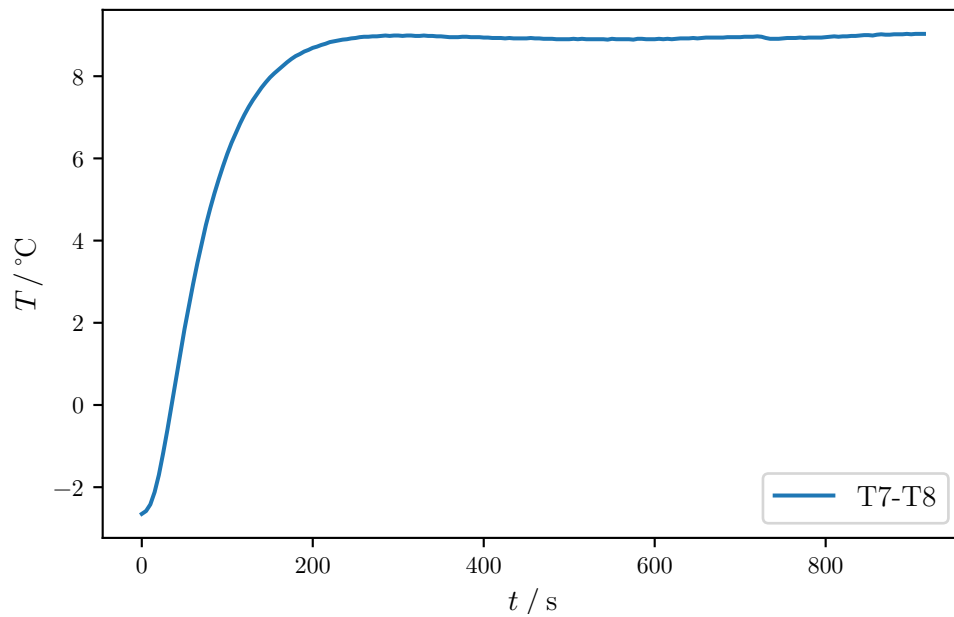


Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf der Temperaturdifferenz zwischen T7 und T8 am Edelstahlstab bei der statischen Methode

Beide Verläufe nähern sich nach einiger Zeit einem festen Wert an. Die Temperaturdifferenz beim Messingstab stellt sich nach ca 400 Sekunden auf $2,8^\circ\text{C}$ ein und die des Edelstahlstabes nach schon 200 Sekunden auf $9,5^\circ\text{C}$. Der größte Unterschied zwischen den beiden Graphen ist der, dass die Temperaturdifferenz des Messingstabes zunächst auf 5°C ansteigt, bevor sich der gleichbleibende Wert einspielt. Beim Messingstab nähert sich der Graph von unten seiner oberen Schranke an und überschreitet diese nicht.

4.2 Dynamische Methode

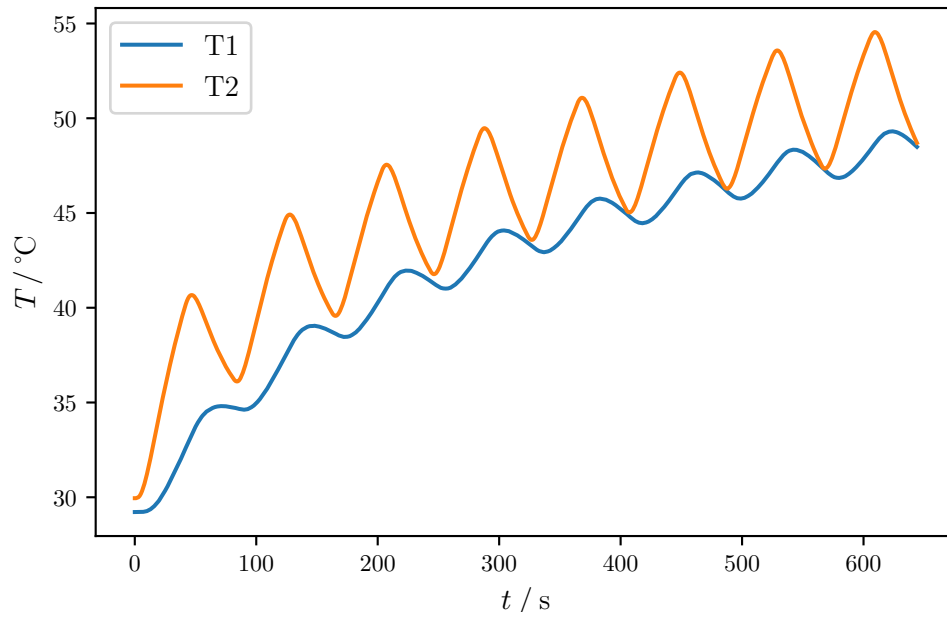


Abbildung 7: Zeitlicher Temperaturverlauf von T1 und T2 am Messingstab bei der dynamischen Methode

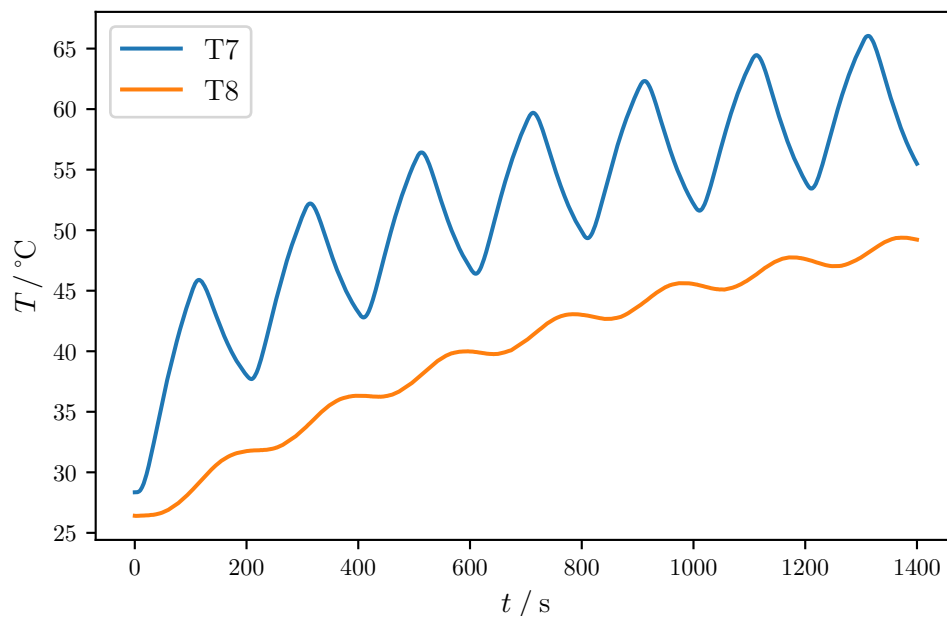


Abbildung 8: Zeitlicher Temperaturverlauf von T7 und T8 am Edelstahlstabes bei der dynamischen Methode

5 Diskussion

6 Anhang

Versuch 204			Abstand der Thermoelemente	
Messreihe 1 (statisch)	$U = 4,9 \text{ V}$		$l = 3 \text{ cm}$	
Schule $\Delta t = 5 \text{ s}$	$I_A = 0,52 \text{ A}$			
Messreihe 2 (dynamisch)	$U = 8 \text{ V}$			
Schule $\Delta t = 1 \text{ s}$	$I_A = 0,75 \text{ A}$			
Messreihe 3 (dynamisch)	$U = 8 \text{ V}$		} Fehlerhaft (falsche Periode dau.)	
Schule $\Delta t = 1 \text{ s}$	$I = 0,88 \text{ A}$			
Messreihe 4 (dynamisch)	$U = 8 \text{ V}$			
Schule $\Delta t = 1 \text{ s}$	$I = 0,78 \text{ A}$			

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/>.