

V204

## **Wärmeleitung von Metallen**

Jan Lukas Schubert  
jan-lukas.schubert@tu-dortmund.de

Jan Lukas Späh  
janlukas.spah@tu-dortmund.de

Durchführung: 19.12.17

Abgabe: 09.01.18

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ziel</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>4</b>
3.1	Statische Methode . . . . .	5
3.2	Dynamische Methode . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Fehlerrechnung</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Auswertung</b>	<b>6</b>
5.1	Statische Methode . . . . .	6
5.2	Dynamische Methode . . . . .	9
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>14</b>
	<b>Literatur</b>	<b>16</b>

# 1 Ziel

In diesem Versuch ist die Wärmeleitung der Metalle bzw. Legierungen Aluminium, Messing und Edelstahl zu untersuchen. Dies soll zum einen durch qualitative Diskussion geschehen, zum anderen sind Wellenlänge und Frequenz einer Temperaturwelle in den Metallen und die Wärmeleitkoeffizienten der Stoffe quantitativ zu bestimmen.

# 2 Theorie

Wenn ein System nicht im thermodynamischen Gleichgewicht ist, findet Wärmeübertragung statt. Die Übertragung von Wärme geschieht durch Konvektion, Wärmestrahlung und Wärmeleitung. Die Wärmeübertragung durch Konvektion geschieht durch Bewegung der Atome oder Moleküle innerhalb des Stoffes selbst. Da in Metallen die einzelnen Atome und Moleküle nahezu unbeweglich sind, findet bei guter Wärmeisolation näherungsweise nur der Mechanismus der Wärmeleitung statt, welcher hier betrachtet werden soll.

Die sogenannte Wärmeleitungsgleichung

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \sigma_T \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

beschreibt die Wärmeleitung in einer Raumdimension. Wie schnell die Wärmeleitung geschieht, hängt von der Temperaturleitfähigkeit  $\sigma_T = \frac{\kappa}{\rho c}$  ab. Dabei ist  $\kappa$  die materialabhängige Wärmeleitfähigkeit,  $\rho$  die Dichte und  $c$  die spezifische Wärmekapazität des Materials. Die konkrete Lösung dieser partiellen Differentialgleichung ist von gegebenen Anfangs- und Randbedingungen sowie der Geometrie des Problems abhängig.

Für die Wärme  $Q$ , die durch einen Stab der Querschnittsfläche  $A$  fließt, gilt der Zusammenhang

$$\frac{dQ}{dt} = -\kappa A \frac{\partial T}{\partial x}. \quad (2)$$

Das abwechselnde Erwärmen und Abkühlen eines sehr langen Stabes mit der zeitlichen Periodendauer  $T^*$  führt zu

$$T(x, t) = T_{\max} \exp(-kx) \cos(\omega t - kx) \quad (3)$$

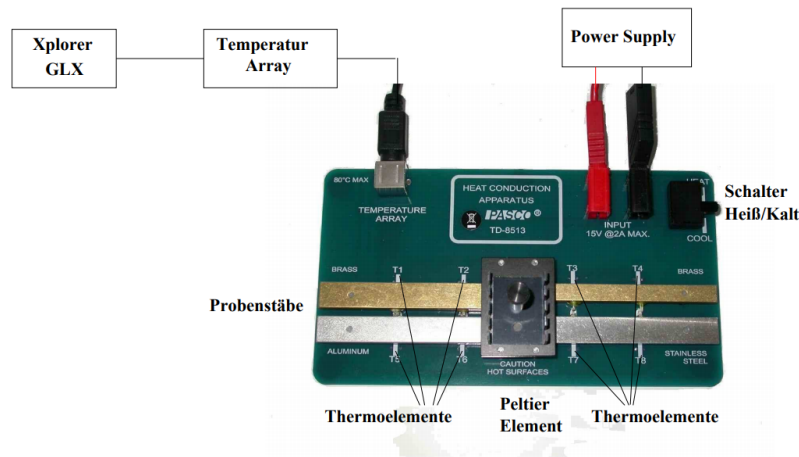
als Lösung von (1). Diese beschreibt eine in Raum und Zeit periodische Welle. Für die Wellenzahl gilt  $k = \sqrt{\frac{\omega \rho c}{2\kappa}}$ . Um die Wärmeleitfähigkeit  $\kappa$  zu bestimmen, sind die Amplituden der Welle  $A_{\text{nah}}$  und  $A_{\text{fern}}$  an zwei verschiedenen Stellen  $x_{\text{nah}}$  und  $x_{\text{fern}}$  bzw. ihr Verhältnis nötig. Der Abstand dieser Stellen ist  $\Delta x = x_{\text{fern}} - x_{\text{nah}}$ . Es ergibt sich

$$\kappa = \frac{\rho c \Delta x^2}{2\Delta t \ln(A_{\text{nah}}/A_{\text{fern}})} \quad (4)$$

für die Wärmeleitfähigkeit. Hier ist  $\Delta t$  die Phasendifferenz der Welle an den zwei Stellen  $x_{\text{nah}}$  und  $x_{\text{fern}}$ .

### 3 Durchführung

Der Versuch wird auf einer vorgefertigten Platine durchgeführt. Der gesamte Aufbau ist in Abbildung 1 zu sehen.



**Abbildung 1:** Versuchsaufbau und Darstellung der Aufnahme der Daten [1]

Die zu untersuchenden Materialien liegen als vier rechteckige Stäbe auf der Platine vor, je ein Stab besteht aus Aluminium und aus Edelstahl und zwei Stäbe mit unterschiedlich großer Querschnittsfläche bestehen aus Messing. Mittig angebracht ist ein Peltier-Element, mit dem je nach Einstellung des Schalters oben rechts entweder ein Kühlen oder Erwärmen der Stäbe von der Mitte aus möglich ist. Die maximal zulässige Spannung am Peltier-Element beträgt 15 V. An jedem der Stäbe sind zwei Thermoelemente angebracht, die mit T1 bis T8 bezeichnet werden<sup>1</sup>. Mit diesen ist die Messung der Temperatur der Stäbe an den Stellen möglich, an denen sie angebracht sind. Die Daten der Messung werden an den Xplorer GLX, einen Datenlogger, weitergegeben. Während jeglicher Messungen wird eine Wärmeisolation über die Stäbe gelegt, um den Austausch von Wärme mit der Umgebung zu minimieren. Nach Beendigung jeder Messung wird die Wärmeisolation entfernt und die Stäbe werden gekühlt.

Am Datenlogger wird überprüft, ob alle acht Temperaturen gemessen und angezeigt werden. Die Abtastrate wird auf 10 s eingestellt. Es wird der Abstand  $x$  zwischen den Thermoelementen gemessen.

Zur Untersuchung der Wärmeleitung und Wärmeleitfähigkeit der Stäbe werden zwei verschiedene Methoden angewandt.

<sup>1</sup>Im Folgenden seien auch die Temperaturen an den entsprechenden Thermoelementen ungenau mit T1 bis T8 bezeichnet.

### 3.1 Statische Methode

Bei dieser Methode werden die Stäbe während der Messung durchgehend erwärmt. Die am Peltier-Element anliegende Spannung wird auf ungefähr 12,2 V geregelt, sodass ein Strom einer Stärke von circa 1 A anliegt. Der Schalter wird auf Heizen gestellt und die Messung an allen acht Thermoelementen durchgeführt, bis T7 45 Grad Celsius beträgt. Dieses ist gerade das nahe Thermoelement am Edelstahlstab. Die Messdaten an den fernen Thermoelementen werden in einem Temperatur-Zeit-Diagramm dargestellt. T1 und T4, sowie T5 und T8 werden dabei jeweils in einem Diagramm aufgetragen. Außerdem werden Diagramme für die Temperaturdifferenzen  $T7 - T8$  und  $T2 - T1$  angefertigt. Die Graphiken werden vor Ort ausgedruckt.

### 3.2 Dynamische Methode

Die Stäbe werden bei der Durchführung dieser Methode periodisch gewärmt und gekühlt. Die Abtastrate wird auf 2 s eingestellt. Als Spannung wird circa 5,2 V eingestellt. Die anliegende Stromstärke beträgt dann ungefähr 0,7 A. Nach der Überprüfung, ob die Stäbe ausreichend abgekühlt sind, wird die Messung begonnen. Die Periodendauer beträgt dabei 80 s, auf 40 s Heizen folgt also 40 s Kühlen und so weiter. Nach zehn Perioden wird die Messung beendet. Es wird ein Diagramm der Temperaturen T1 und T2 am breiten Messingstab erstellt und gedruckt, dies wird für die Temperaturen T5 und T6 am Aluminiumstab wiederholt.

Sobald die Stäbe wieder hinreichend abgekühlt sind, wird die zweite Messung der dynamischen Methode begonnen. Diese wird analog zur ersten durchgeführt, nur wird mit einer Periodendauer von 200 s gewärmt und gekühlt. Wieder wird nach zehn Perioden die Messung beendet. Ein Diagramm der Temperaturen T7 und T8 am Edelstahlstab wird ausgedruckt.

## 4 Fehlerrechnung

Der Mittelwert einer Stichprobe von  $N$  Werten wird durch

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^N x_i \quad (5)$$

berechnet. Die empirische Standardabweichung dieser Stichprobe ist durch

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

gegeben. Ist  $f$  eine Funktion, die von unsicheren Variablen  $x_i$  mit Standardabweichungen  $\sigma_i$  abhängt, so ist die Unsicherheit von  $f$

$$\sigma_f = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma_i \right)^2}. \quad (7)$$

Diese Formel bezeichnet man als "Gauß'sches Fehlerfortpflanzungsgesetz".

Wenn im Folgenden Mittelwerte, Standardabweichungen und Fehler von Funktionen unsicherer Größen berechnet werden, so werden stets die obigen Formeln verwendet. Regressionen werden mit IPython 5.3.0 in Python 3.6.1 durchgeführt.

## 5 Auswertung

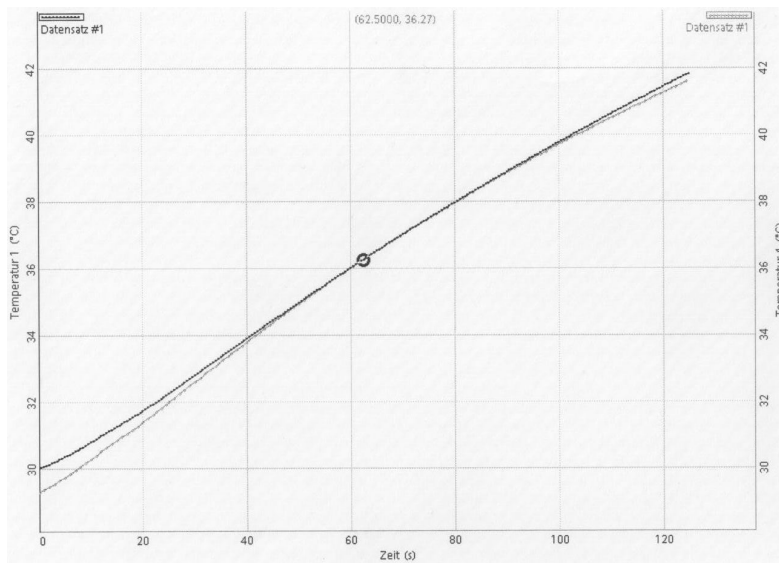
### 5.1 Statische Methode

Zur Auswertung der statischen Methode sollen zunächst die ausgedruckten Graphen miteinander verglichen werden. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die Temperaturen der verschiedenen Stäbe an den vom Peltier-Element weiter entfernten Thermoelementen. Bei beiden Messingstäben, sowie bei dem Aluminiumstab kann ein annähernd exponentieller Anstieg der Temperatur mit der Zeit erkannt werden. Die Graphen zeigen zunächst einen Zuwachs der Steigung, steigen dann steil an und flachen gegen Ende der Messung leicht ab. Die Graphen unterscheiden sich jedoch in ihrer Höhe und ihrer Steigung. Der Temperaturverlauf des Edelstahlstabes ist zunächst konstant und zeigt nach etwa 40 s ein leichtes Wachstum der Steigung.

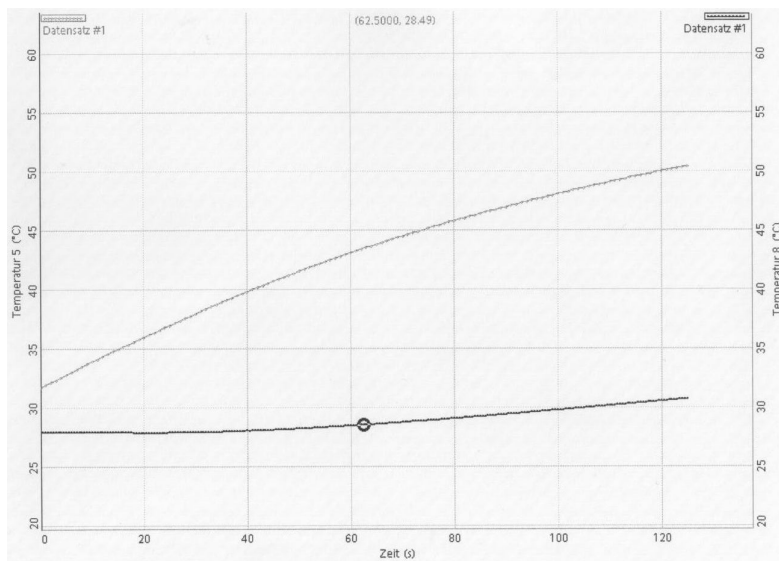
Um festzustellen, welcher der Stäbe die beste Wärmeleitung besitzt, sollen die Temperaturen der Stäbe nach 700 s abgelesen werden. Da die Messung jedoch auf Anweisung der Versuchsleitung mit einem größeren Strom durchgeführt wurde, als in der Anleitung vermerkt, musste die Messung bereits nach etwa 120 s abgebrochen werden, um ein Überhitzen der Stäbe zu vermeiden. Daher werden an dieser Stelle die Temperaturen der verschiedenen Stäbe am Ende der Messung verwendet. Diese betragen

$$\begin{aligned} T_1 &= 314,95 \text{ K}, \\ T_4 &= 314,75 \text{ K}, \\ T_5 &= 323,65 \text{ K}, \\ T_8 &= 303,95 \text{ K}. \end{aligned}$$

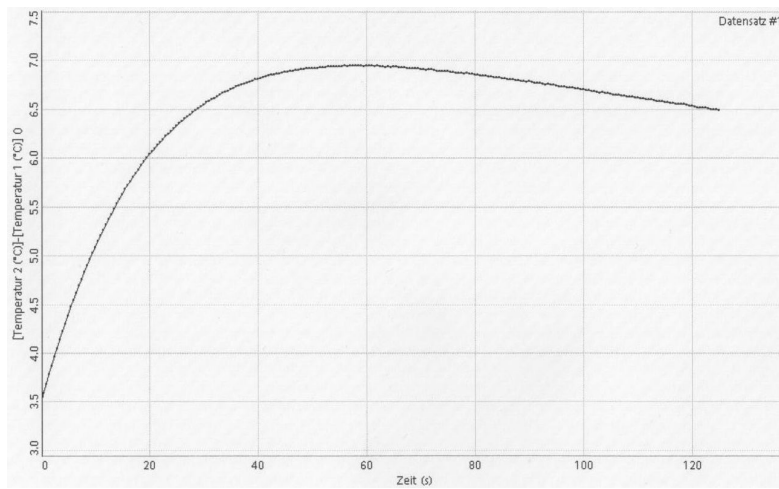
Es ist erkennbar, dass der Aluminiumstab die höchste Temperatur besitzt. Da alle Stäbe ungefähr die gleiche Ausgangstemperatur hatten, kann daraus geschlossen werden, dass der Aluminiumstab die beste Wärmeleitung besitzt.



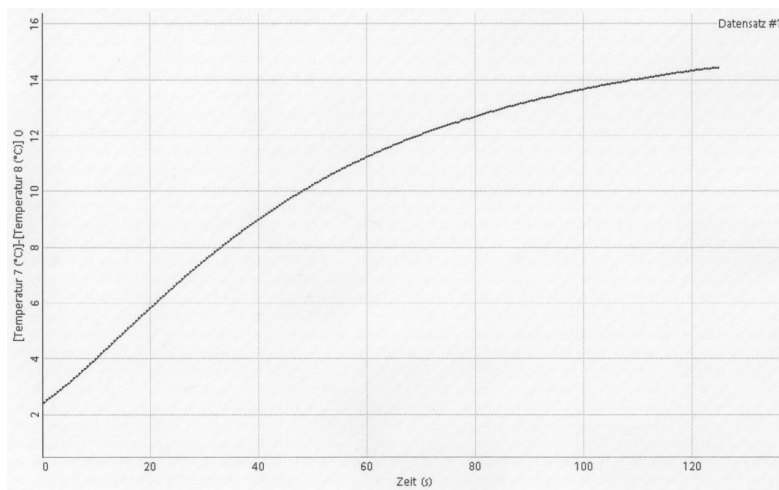
**Abbildung 2:** Temperaturverlauf des dicken Messingstabes (in der Abbildung dick dargestellt) und des dünnen Messingstabes (in der Abbildung dünn dargestellt) an den vom Peltier- Element weiter entfernten Themoelementen in Abhängigkeit von der Zeit



**Abbildung 3:** Temperaturverlauf des Aluminiumstabes (in der Abbildung dünn dargestellt) und des Edelstahlstabes (in der Abbildung dick dargestellt) an den vom Peltier- Element weiter entfernten Themoelementen in Abhängigkeit von der Zeit



**Abbildung 4:** Verlauf der Temperaturdifferenz des fernen und des nahen Thermoelements am Messingstab in Abhängigkeit von der Zeit



**Abbildung 5:** Verlauf der Temperaturdifferenz des fernen und des nahen Thermoelements am Edelstahlstab in Abhängigkeit von der Zeit



Nun soll der Verlauf der Temperaturdifferenzen am breiten Messingstab und am Edelstahlstab in Abhängigkeit von der Zeit betrachtet werden. Die Verläufe sind in den Abbildungen 4 und 5 dargestellt.

Bei beiden Stäben steigt die Temperaturdifferenz zunächst stark an, flacht danach jedoch ab. Beim Messingstab ist zudem ein Maximum und ein anschließendes Abfallen der Temperaturdifferenz zu beobachten. Die Temperaturdifferenz ist insgesamt bei dem Edelstahlstab größer. Daraus lässt sich schließen, dass Messing die Wärme besser leitet und sich somit homogener erhitzt als Edelstahl.

Nun soll für den breiten Messingstab und für den Edelstahlstab der Wärmestrom zu fünf verschiedenen Zeiten bestimmt werden. Dafür wird die jeweilige Temperaturdifferenz zum jeweiligen Zeitpunkt aus den Abbildungen 4 und 5 abgelesen. Zur Berechnung wird Gleichung (2) verwendet und die Differenzialquotienten als Differenzenquotienten diskretisiert. Die Werte für die Querschnittsfläche  $A$  der Stäbe können der Versuchsanleitung [1] entnommen werden. Die Werte für die Wärmeleitfähigkeit  $\kappa$  wurden in [3] und [2] nachgeschlagen. Der Abstand zwischen den beiden Thermoelementen wird durch Messung zu  $d = 3,0 \text{ cm}$  bestimmt. Die für die Rechnung verwendeten Werte sind:

$$\begin{aligned}\kappa_{\text{Messing,lit}} &= 112 \frac{\text{J}}{\text{m K}}, \\ A_{\text{Messing}} &= 48 \cdot 10^{-6} \text{ m}, \\ \kappa_{\text{Edelstahl,lit}} &= 15 \frac{\text{J}}{\text{m K}}, \\ A_{\text{Edelstahl}} &= 48 \cdot 10^{-6} \text{ m}.\end{aligned}$$

In Tabelle 1 sind die abgelesenen Werte und die daraus berechneten Werte für den Wärmestrom zu finden.

**Tabelle 1:** Abgelesene Werte für die Temperaturdifferenz  $\Delta T$  am Messingstab und am Edelstahlstab in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  und die daraus berechneten Werte für den Wärmestrom  $\Delta Q/\Delta t$

$t/\text{s}$	$\Delta T_{21}/\text{K}$	$\frac{\Delta Q_{21}}{\Delta t}/\text{W}$	$\Delta T_{78}/\text{K}$	$\frac{\Delta Q_{78}}{\Delta t}/\text{W}$
20	6,04	-1,08	5,81	-0,14
40	6,81	-1,22	8,97	-0,22
60	6,95	-1,25	11,23	-0,27
80	6,87	-1,23	12,65	-0,30
100	6,72	-1,20	13,68	-0,33

## 5.2 Dynamische Methode

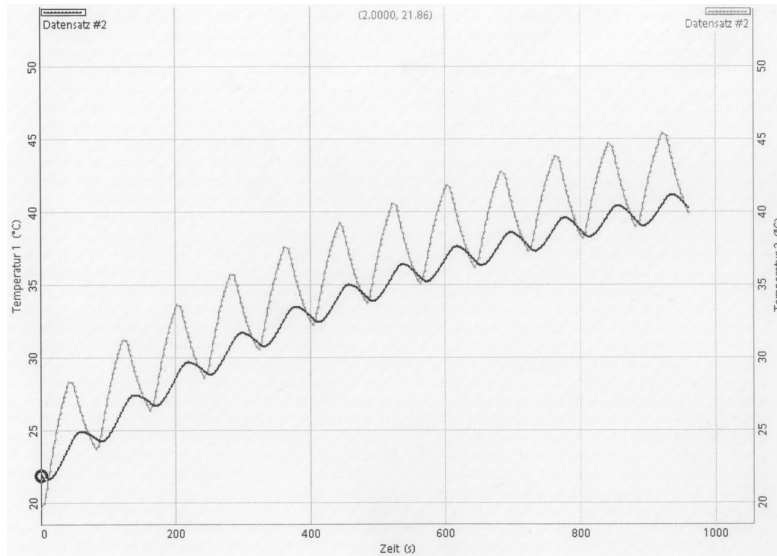
Zur Auswertung der dynamischen Methode soll die Wärmeleitfähigkeit  $\kappa$  von Messing, Aluminium und Edelstahl nach Gleichung (4) bestimmt werden. Dafür werden aus den

angefertigten Graphen Werte für die jeweiligen Amplituden  $A_{\text{nah}}$  und  $A_{\text{fern}}$ , sowie für die Phasendifferenz  $\Delta t$  abgelesen. Erneut wird für den Abstand der Thermoelemente bei dieser Messreihe für alle Stäbe zu 3,0 cm bestimmt. Die zusätzlich benötigten Werte für die Dichte  $\rho$  und die spezifische Wärmekapazität  $c$  der Legierungen und Metalle können der Versuchsanleitung entnommen werden. Die Graphen finden sich in den Abbildungen 6 bis 8.

Für Messing werden die Folgenden Werte verwendet:

$$\begin{aligned}\rho &= 8520 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \\ c &= 385 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}, \\ \ln\left(\frac{A_{\text{nah}}}{A_{\text{fern}}}\right) &= 1,17 \pm 0,05, \\ \Delta t &= (15,8 \pm 1,1) \text{ s}.\end{aligned}$$

Die zugrundeliegenden Messdaten können Tabelle 2 entnommen werden. Die fehlerbehafteten Werte werden dabei mit Gleichung (5) gemittelt und ihre Standardabweichungen mit Gleichung (6) berechnet.



**Abbildung 6:** Temperaturverlauf des Messingstabes am nahen Thermoelement (in der Abbildung dünn dargestellt) und am fernen Thermoelement (in der Abbildung dick dargestellt) in Abhängigkeit von der Zeit bei der dynamischen Methode mit einer Periodendauer von 80 s

Wird nun die Wärmeleitfähigkeit  $\kappa$  gemäß (4) berechnet, so ergibt sich

$$\kappa_{\text{Messing}} = (80 \pm 6) \frac{\text{W}}{\text{m K}}.$$

**Tabelle 2:** Abgelesene Werte für die Amplituden  $A_{\text{nah}}$  und  $A_{\text{fern}}$  der Temperaturen und ihrer Phasendifferenz am Messingstab und daraus berechnete Logarithmen der Amplitudenquotienten

$A_{\text{nah}}/\text{K}$	$A_{\text{fern}}/\text{K}$	$\ln\left(\frac{A_{\text{nah}}}{A_{\text{fern}}}\right)$	$\Delta t$
6,6	1,9	1,26	16
6,2	2,1	1,08	16
6,1	1,9	1,17	14
6,1	2,0	1,12	17
6,3	1,9	1,20	18
6,3	1,9	1,20	15
6,3	2,0	1,15	16
6,3	2,0	1,15	14
6,1	1,9	1,17	16
6,2	1,9	1,18	16
6,3	1,9	1,20	16

Dabei muss die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung mittels Gleichung (7) berücksichtigt werden. Der Literaturwert für die Wärmeleitfähigkeit von Messing liegt bei  $\kappa_{\text{Messing,lit}} = 112 \text{ W}/(\text{m K})$  [3]. Die Abweichung der Messung entspricht also 28,57%. Je nach Legierung kann jedoch auch der Wert für die Wärmeleitfähigkeit von Messing variieren, sodass auch Werte von  $\kappa_{\text{Messing}} = 81 \text{ W}/(\text{m K})$  [4] möglich sind.

Für Aluminium ergeben sich die Werte

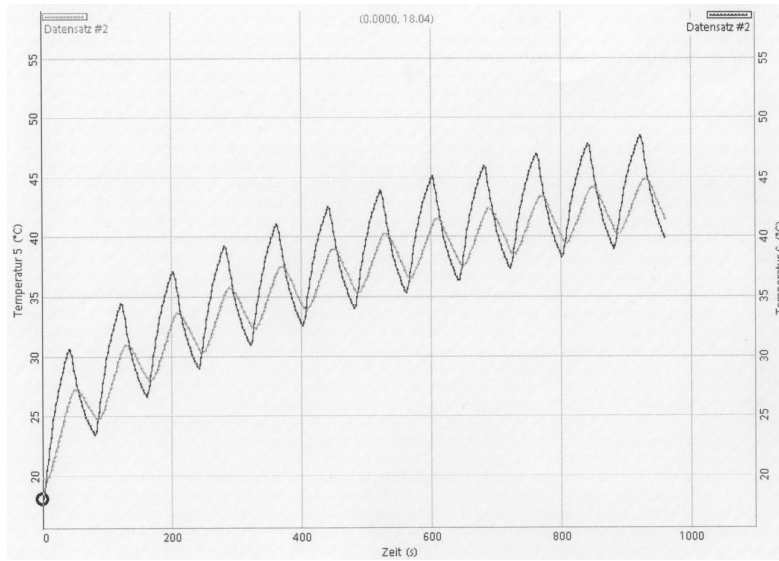
$$\begin{aligned}\rho &= 2800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \\ c &= 830 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}, \\ \ln\left(\frac{A_{\text{nah}}}{A_{\text{fern}}}\right) &= 0,73 \pm 0,03, \\ \Delta t &= (7,5 \pm 1,1) \text{ s}.\end{aligned}$$

Sie werden analog zu denen von Messing berechnet. Die zugehörigen Messdaten sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Die Wärmeleitfähigkeit ergibt sich dann ebenfalls nach Gleichung (4) und (7) zu

$$\kappa_{\text{Aluminium}} = (193 \pm 29) \frac{\text{W}}{\text{m K}}.$$

Hier ist auffällig, dass der Fehler sehr groß ist. Der Literaturwert für die Wärmeleitfähigkeit von Aluminium ist  $\kappa_{\text{Aluminium,lit}} = 220 \text{ W}/(\text{m K})$  [3]. Die relative Abweichung beträgt 12,27%.



**Abbildung 7:** Temperaturverlauf des Aluminiumstabes am nahen Thermoelement (in der Abbildung dick dargestellt) und am fernen Thermoelement (in der Abbildung dünn dargestellt) in Abhängigkeit von der Zeit bei der dynamischen Methode mit einer Periodendauer von 80 s

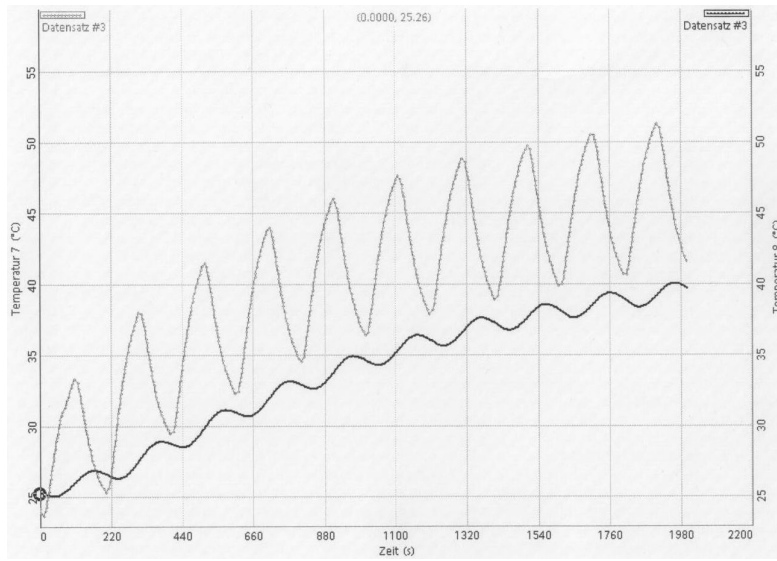
**Tabelle 3:** Abgelesene Werte für die Amplituden  $A_{\text{nah}}$  und  $A_{\text{fern}}$  der Temperaturen und ihrer Phasendifferenz am Aluminiumstab und daraus berechnete Logarithmen der Amplitudenquotienten

$A_{\text{nah}}/\text{K}$	$A_{\text{fern}}/\text{K}$	$\ln\left(\frac{A_{\text{nah}}}{A_{\text{fern}}}\right)$	$\Delta t$
10	5,2	0,65	7
9,4	4,7	0,69	7
9,3	4,5	0,73	7
9,4	4,6	0,71	9
9,3	4,4	0,75	8
9,3	4,3	0,77	6
9,2	4,3	0,76	6
9,2	4,4	0,74	7
9,1	4,4	0,73	9
9,1	4,4	0,73	9
9,1	4,4	0,73	7

Für Edelstahl lassen sich folgende Werte finden:

$$\begin{aligned}\rho &= 8000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \\ c &= 400 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}, \\ \ln\left(\frac{A_{\text{nah}}}{A_{\text{fern}}}\right) &= 1,96 \pm 0,04, \\ \Delta t &= (7,5 \pm 1,1) \text{ s}.\end{aligned}$$

Sie werden ebenfalls analog zu denen von Messing berechnet. Die Messdaten zu dieser Messreihe finden sich in Tabelle 4.



**Abbildung 8:** Temperaturverlauf des Edelstahlstabes am nahen Thermoelement (in der Abbildung dünn dargestellt) und am fernen Thermoelement (in der Abbildung dick dargestellt) in Abhängigkeit von der Zeit bei der dynamischen Methode mit einer Periodendauer von 200 s

Auch hier ergibt sich die Wärmeleitfähigkeit nach Gleichung (4) und (7) zu

$$\kappa_{\text{Edelstahl}} = (12,3 \pm 0,8) \frac{\text{W}}{\text{m K}}.$$

Der Literaturwert ist  $\kappa_{\text{Edelstahl,lit}} = 15 \text{ W}/(\text{m K})$  [2]. Die relative Abweichung beträgt hier 18,00%.

**Tabelle 4:** Abgelesene Werte für die Amplituden  $A_{\text{nah}}$  und  $A_{\text{fern}}$  der Temperaturen und ihrer Phasendifferenz am Edelstahlstab und daraus berechnete Logarithmen der Amplitudenquotienten

$A_{\text{nah}}/\text{K}$	$A_{\text{fern}}/\text{K}$	$\ln\left(\frac{A_{\text{nah}}}{A_{\text{fern}}}\right)$	$\Delta t$
9	1.2	2.01	55
10.8	1.5	1.97	64
10.5	1.5	1.95	59
10.6	1.4	2.02	64
10.5	1.6	1.88	57
10.5	1.5	1.95	57
10.5	1.5	1.95	65
10.5	1.5	1.95	58
10.3	1.5	1.93	59

## 6 Diskussion

Die Messergebnisse sind insgesamt als konsistent zu bewerten. Die Werte der statischen Methode können zwar nicht mit Literaturwerten verglichen werden, da sie selbst mithilfe von Literaturwerten berechnet wurden, jedoch weisen sie qualitativ die zu erwartenden Eigenschaften auf. Die Graph der Temperatur steigt für den Aluminiumstab, welcher die größte Wärmeleitfähigkeit besitzt, am schnellsten und für den Edelstahlstab, welcher die geringste Wärmeleitfähigkeit besitzt, am langsamsten. Zudem sind die Werte für den Wärmestrom im Messingstab höher als im Edelstahlstab, was ebenfalls durch die Literaturwerte der Wärmeleitfähigkeit zu erwarten ist. Auffällig ist lediglich, dass der Graph für die Temperaturdifferenz am Messingstab zunächst ein Maximum annimmt und daraufhin wieder abfällt. Ein möglicher Grund hierfür ist, dass die Stromstärke am Power Supply während der Messung leicht sank, sodass das Peltier-Element nicht gleichmäßig heizen konnte.

Die experimentell ermittelten Werte für die Wärmeleitfähigkeit durch die Auswertung der Messung mit der dynamischen Methode sind:

$$\begin{aligned}\kappa_{\text{Messing}} &= (80 \pm 6) \frac{\text{W}}{\text{m K}}, \\ \kappa_{\text{Aluminium}} &= (193 \pm 29) \frac{\text{W}}{\text{m K}}, \\ \kappa_{\text{Edelstahl}} &= (12,3 \pm 0,8) \frac{\text{W}}{\text{m K}}.\end{aligned}$$

Auffällig ist hier lediglich der sehr große Fehler bei dem Wert für Aluminium. Der Grund dafür ist wahrscheinlich ungenaues Ablesen von dem Graphen. Die Abweichungen zu den Literaturwerten betragen 28,57% bei Messing, 12,27% bei Aluminium und 18,00% bei Edelstahl, wenn man mit den in Kapitel 5 angenommenen Literaturwerten vergleicht.

Wie zuvor bereits angemerkt, kann jedoch keine Aussage über die Legierungen und ihre Mischverhältnisse getroffen werden, weswegen die Literaturwerte auch abweichen können. Die Abweichungen zu den Literaturwerten liegen insgesamt im Rahmen der Messungenauigkeit. Diese ist bei der verwendeten Methode der Auswertung verhältnismäßig groß, da bereits durch sehr geringe Ungenauigkeiten beim Ablesen vom Graphen große Fehler bei den Messwerten und damit auch bei den Ergebnissen entstehen können. Zusätzlich sind die hier verwendeten Literaturwerte unter Umständen nicht passend, da sie je nach Legierung stark variieren können.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch 204: Wärmeleitung von Metallen*. [Online; aufgerufen am 03.01.2018]. 2018. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/Waermeleitf.pdf>.
- [2] A. Oebbeke. *Dämmstoff Magazin: Wärmeleitzahlen*. [Online; aufgerufen am 03.01.2018]. 2017. URL: <https://www.baulinks.de/baumaterial/lambda-werte-waermeleitzahl-waermeleitfaehigkeit-waermedaemmung.php>.
- [3] Schirdewahn. *Wärmeleitfähigkeit verschiedener Materialien*. [Online; aufgerufen am 03.01.2018]. 2004. URL: <http://dschirdewahn.de/Leitfaehigkeit.pdf>.
- [4] A. Schweizer. *Wärmeleitfähigkeit - Metalle*. [Online; aufgerufen am 03.01.2018]. 2017. URL: [https://www.schweizer-fn.de/stoff/wleit\\_metall/wleit\\_metall.php](https://www.schweizer-fn.de/stoff/wleit_metall/wleit_metall.php).