

VERSUCH 204

## **Wärmeleitung von Metallen**

Annika Bennemann  
annika.bennemann@tu-dortmund.de

Paulin Vehling  
paulin.vehling@tu-dortmund.de

Durchführung: 26.11.2021

Abgabe: 04.12.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
1.1	Allgemein . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Durchführung</b>	<b>3</b>
2.1	Aufbau . . . . .	3
2.2	Statische Methode . . . . .	4
2.3	Dynamische Methode . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>5</b>
3.1	statische Messung . . . . .	6
3.2	Dynamische Messung . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>14</b>
4.1	statische Messung . . . . .	14
4.2	dynamische Messung . . . . .	14

# 1 Theorie

Ziel dieses Versuches ist die Wärmeleitung von Aluminium, Messing und Edelstahl zu untersuchen.

## 1.1 Allgemein

Existiert eine Temperaturungleichgewicht, entsteht ein Wärmetransport entlang des Temperaturgefälles. Dies kann entweder durch Konvektion, Wärmeleitung oder Wärmestrahlung passieren. In diesem Versuch beschränkt man sich auf die Wärmeleitung.

In festen Körpern erfolgt der Wärmetransport über Phononen und frei bewegliche Elektronen, wobei der Gitterbeitrag vernachlässigbar ist [V204]. Die Wärmemenge lässt sich bestimmen durch:

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

wobei  $\kappa$  die Wärmeleitfähigkeit ist, welche in ?? beschrieben ist. Mit der Wärmestromdichte Gleichung 2

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

und der Kontinuitätsgleichung kann eine eindimensionale Wärmeleitungsgleichung Gleichung 3 gebildet werden.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\kappa}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (3)$$

Diese gibt an den räumlichen- und zeitlichen Verlauf der Temperaturverteilung an und  $\frac{\kappa}{\rho c}$  ist die Temperaturleitfähigkeit  $\sigma_t$  von dem Material. Sie gibt die "Geschwindigkeit" der Wärmemenge an. Die Temperatur ist kann man als Funktion mit einer zeitlichen Abhängigkeit beschreiben. Bei einem periodischen Temperaturwechsel bildet sich eine räumliche und zeitliche Temperaturwelle, welche eine Funktion der Form:

$$T(x, t) = T_{max} e^{-\sqrt{\frac{\omega \rho c}{2\kappa}} x} \cos(\omega t - \sqrt{\frac{\omega \rho c}{2\kappa}} x) \quad (4)$$

## 2 Durchführung

### 2.1 Aufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus einer Grundplatte mit vier rechteckigen Stäben, die an einer Seite von einem Peltier-Element simultan geheizt oder gekühlt werden. Die Stäbe sind aus drei verschiedenen Materialien: Aluminium, Edelstahl und zweimal Messing, mit verschiedenen Durchmessern. Zusätzlich sind an jedem Stab zwei Thermoelemente, welche die Temperatur an verschiedenen Stellen der Stäbe messen Abbildung 1. Die Thermoelemente sind verbunden mit einem GLX Datenlogger Abbildung 2, welcher die Temperaturen aufnimmt und eine Tabelle überführt. Zuletzt gibt es auch eine Spannungsquelle, welche bei der statischen Mode eine Betriebsspannung von 5V auf das

Heizelement überträgt. Bei der dynamischen Mode wird sie auf 8V eingestellt. Bei beidem wird der Strom auf Maximal gestellt.

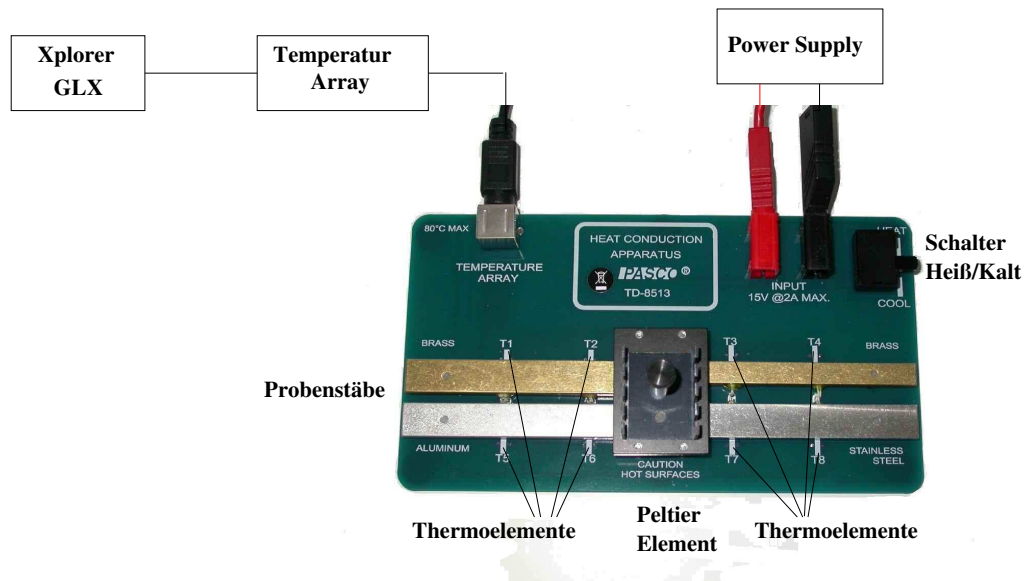


Abbildung 1: Grundplatte mit Aluminium, Edelstahl und zweimal Messing[V204]

## 2.2 Statische Methode

An allen acht Thermoelementen wird der Temperaturverlauf in Abhängigkeit des der Zeit gemessen. Dafür wird die Abtastrate beim GLX auf  $\Delta t_{GLX} = 5s$  Sekunden gestellt. Es wird solange gemessen bis das Thermoelement T7  $45^\circ C$  anzeigt. Während des Heizvorgangs werden Isolierungen über die Stäbe gelegt, damit der Wärmeaustausch mit der Umgebung verringert wird. Nach der Messung müssen die Stäbe wieder gekühlt werden, sodass deren Temperaturen maximal 30 betragen.

## 2.3 Dynamische Methode

Ein andere Name für dieses Methode ist die Angström-Messverfahren. Dabei werden die Probenstäbe periodisch geheizt. Die Abtastrate wird vorher auf  $\Delta t_{GLX} = 2s$  geändert. Die erste Messung ist über eine Periode von 80s, wobei die ersten 40s geheizt und die letzten 40s gekühlt wird. Während gekühlt wird muss das Peltier-Element auf "COOL" gestellt werden und die Wärmeisolatoren werden abgenommen. Diese Messung geht über 10 Perioden.

Die zweite Messung wird analog durchgeführt. Die Periode beträgt nun jedoch 200s und die Messung endet, wenn eines der Thermoelemente  $80^\circ C$  erreicht.



Abbildung 2: Xplore GLX[V204]

T1 Messing dick fern T2 Messing dick nah T3 Messing dünn nah T4 Messing dünn fern T5 Aluminium fern T6 Aluminium nah T7 Edelstahl nah T8 Edelstahl fern

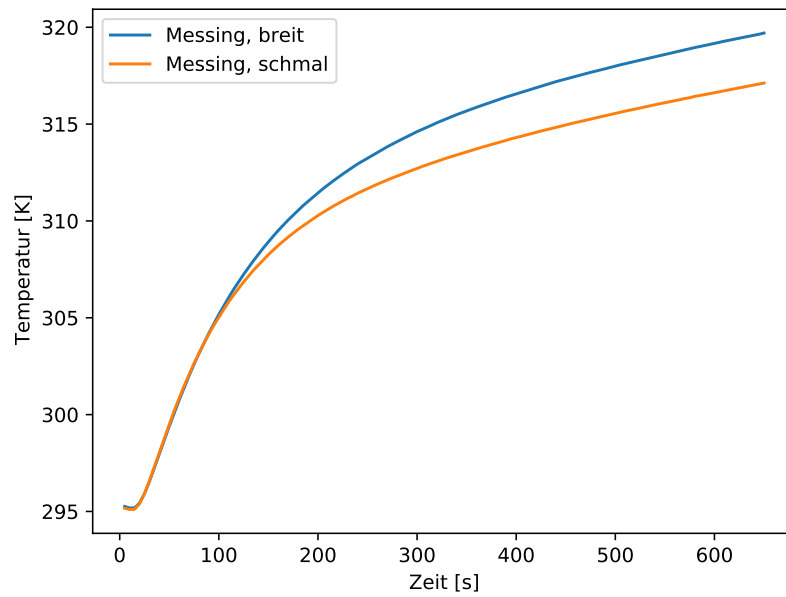
### 3 Auswertung

Tabelle 1: Materialeigenschaften der Grundplatte. [V204]

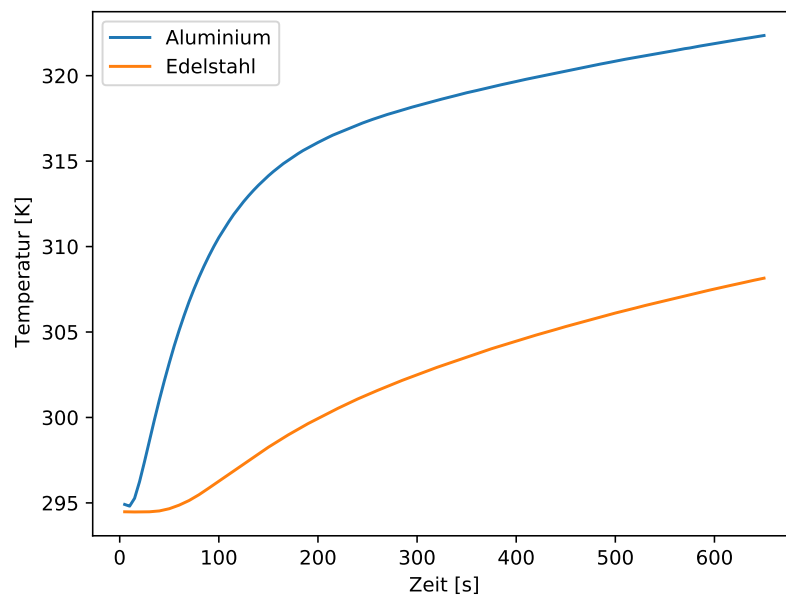
Material	$l / \text{cm}$	$b / \text{cm}$	$h / \text{cm}$	$\rho / \text{kg/m}^3$	$c / \text{J/(kg K)}$
Messing	9	1,2	0,4	8520	385
Messing	9	0,9	0,4	8520	385
Aluminium	9	1,2	0,4	2800	830
Edelstahl	9	1,2	0,4	8000	400

### **3.1 statische Messung**

Wie in Unterabschnitt 2.2 beschrieben, wird eine statische Messung der Temperaturverläufe an den Stäben durchgeführt. Die Daten werden in folgenden Diagrammen dargestellt und ausgewertet.



(a) Temperaturverlauf der Messingstäbe (fern)



(b) Temperaturverlauf des Aluminium- und Edelstahlstabs (fern)

**Abbildung 3:** Temperaturverläufe der Stäbe an den fernen Thermoelementen

Zunächst wurden die Temperaturen an den fernen Thermoelementen über einen Zeit-

raum von 650 s aufgenommen. Die Temperaturverläufe aller 4 untersuchten Stäbe weisen Gemeinsamkeiten auf. So sieht man im Vergleich der Graphen in Abbildung 3, dass bei allen Metallen die Temperatur initial stark steigt und sich mit zunehmender Zeit einem Sättigungswert annähert. Der Temperaturanstieg ist bei Edelstahl allerdings deutlich langsamer als bei den übrigen Metallen und auch der Sättigungswert ist hier deutlich niedriger. Bei den beiden Messingstäben sind sehr ähnliche Temperaturverläufe zu beobachten, wobei die Kurve des breiten Stabs zu einem späteren Zeitpunkt abflacht als die des schmalen Stabs.

**Tabelle 2:** Temperaturen der Stäbe nach 650s

Material	Temperatur [K]
Messing, breit	319,70
Messing, schmal	317,12
Aluminium	322,35
Edelstahl	308,15

Zur Bewertung der Wärmeleitung der Stäbe wurde die Temperatur am Ende der statischen Messung erhoben und in einer Tabelle dargestellt. Aus den Werten in Tabelle 2 lässt sich erkennen, dass Aluminium von den untersuchten Metallen die beste Wärmeleitfähigkeit besitzt und Edelstahl die Wärme am schlechtesten leitet.

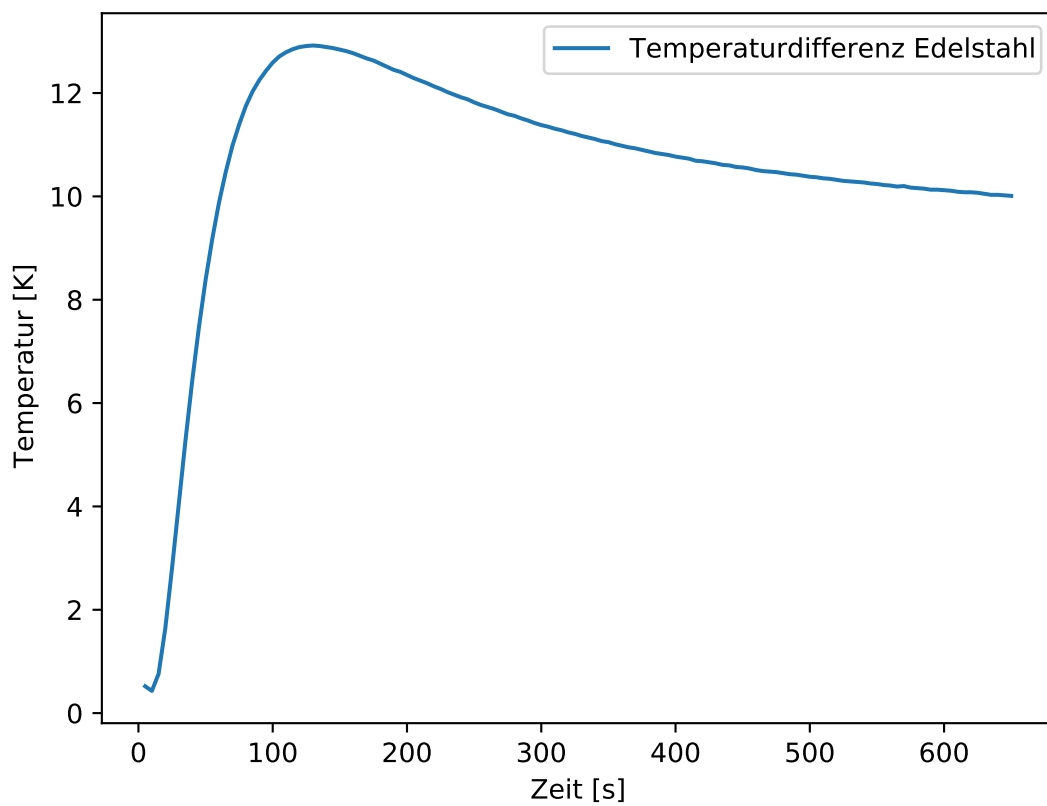
**Tabelle 3:** Wärmeströme zu verschiedenen Messzeiten

Messzeitpunkt $t$ [s]	Wärmestrom $\Delta Q / \Delta t$ [W]			
	Messing, breit	Messing, schmal	Aluminium	Edelstahl
50	-1,235	-0,879	-2,067	-0,268
200	-0,669	-0,520	-0,846	-0,395
350	-0,476	-0,425	-0,645	-0,354
500	-0,427	-0,404	-0,599	-0,332
650	-0,409	-0,398	-0,592	-0,320

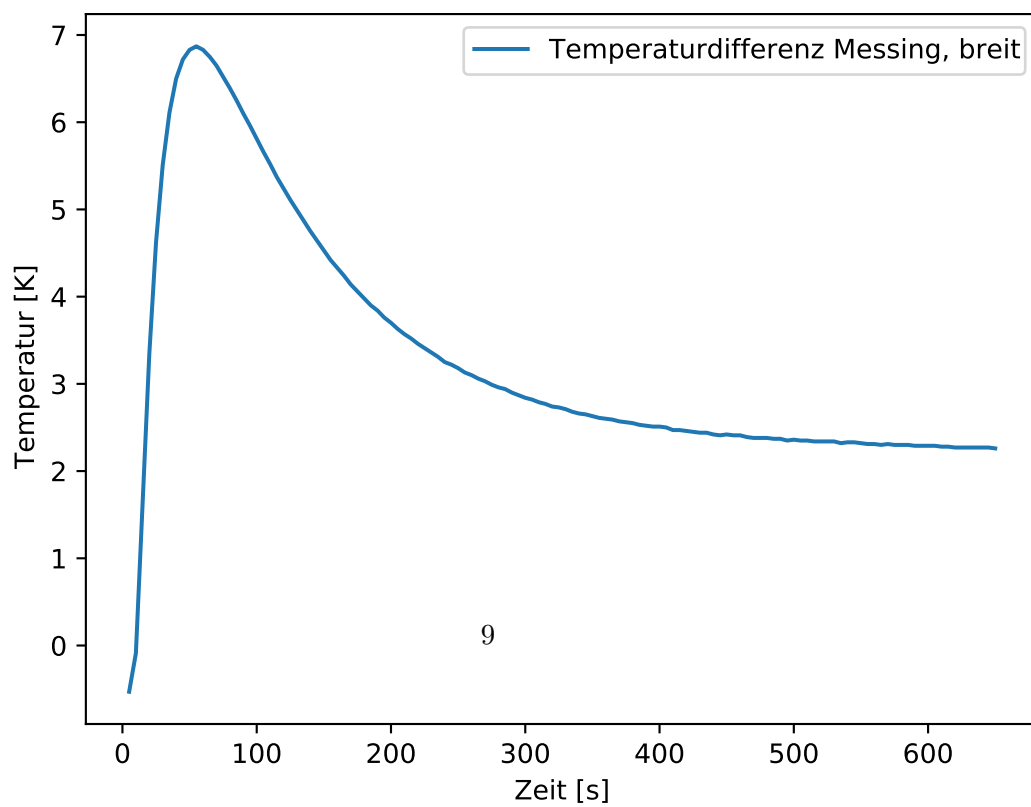
In der Tabelle 3 sind die mithilfe von Gleichung 1 berechneten Wärmeströme der verschiedenen Metalle zu fünf unterschiedlichen Messzeitpunkten zu sehen.

In Abbildung 4 sind die Verläufe der Temperaturdifferenzen zwischen den Thermoelementen auf dem breiten Messingstab, sowie dem Edelstahlstab dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass die Differenz bei beiden Stäben zunächst stark ansteigt, dann aber einen Hochpunkt aufweist und danach wieder fällt, sich dann aber einem Sättigungswert annähert und die Kurven abflachen. Beim Messingstab ist die Differenz allerdings ab dem Hochpunkt der Kurve deutlich niedriger als beim Edelstahlstab. Auch beträgt die Temperaturdifferenz am Hochpunkt der Kurve bei Edelstahl einen Wert von über 12 K, wobei der Wert am Hochpunkt der Messingkurve unter 7 K liegt.





(a) Verlauf der Temperaturdifferenz am Edelstahlstab



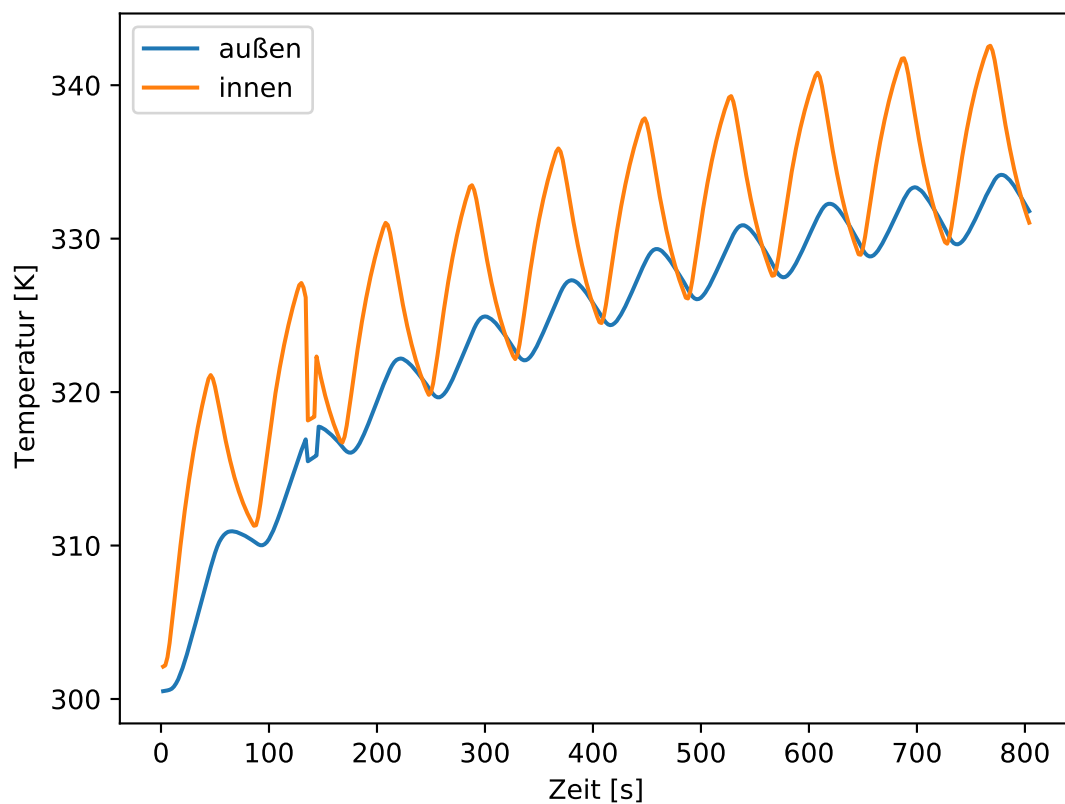
(b) Verlauf der Temperaturdifferenz am breiten Messingstab

**Abbildung 4:** Verlauf der Temperaturdifferenzen zwischen den Thermoelementen

### 3.2 Dynamische Messung

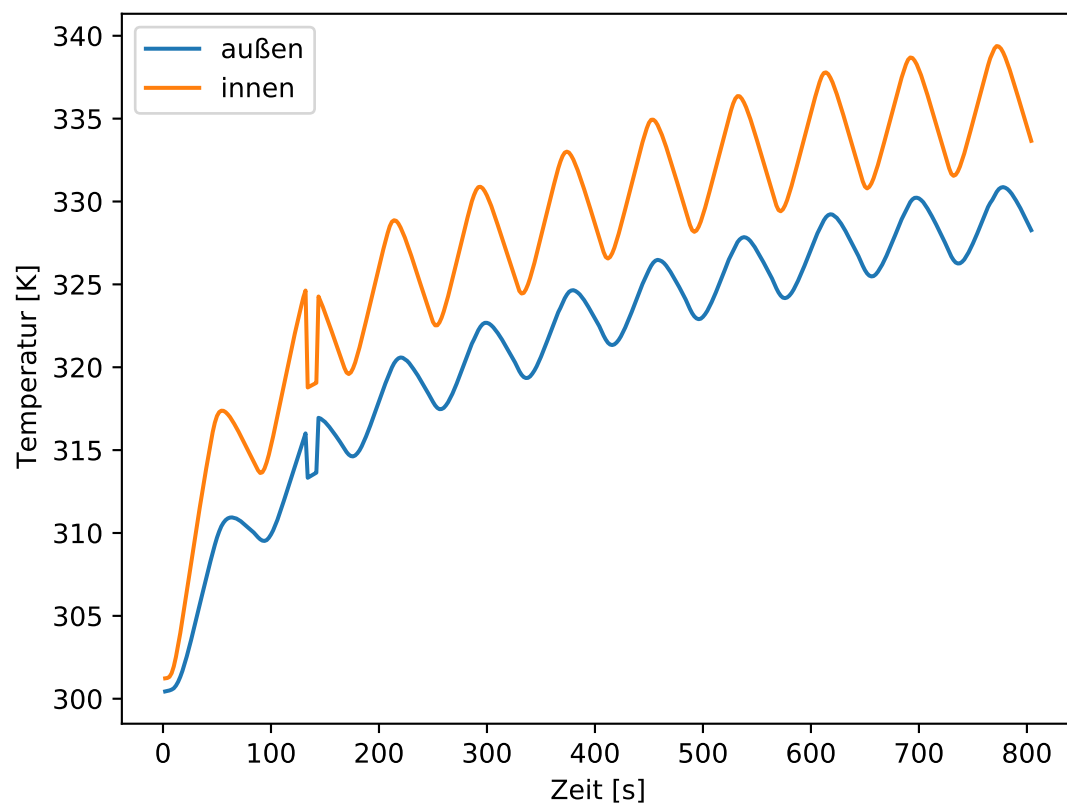
Wie in Unterabschnitt 2.3 beschrieben, werden mehrere dynamische Messungen der Temperaturverläufe an den Stäben durchgeführt. Die Daten werden in folgenden Diagrammen dargestellt und ausgewertet.

Zunächst wurde die Messung nach dem Angström-Verfahren, siehe Abschnitt 2 mit einer Periodendauer von 80s durchgeführt. Die Werte an den Thermoelementen am breiten Messingstab und am Aluminiumstab werden in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt. Anhand der Graphen wurden die Amplituden, sowie die Phasendifferenzen bestimmt. Außerdem wurde nach ?? die Wärmeleitfähigkeit  $\kappa$  der verschiedenen Metalle berechnet. Die Ergebnisse sind in ?? aufgelistet.

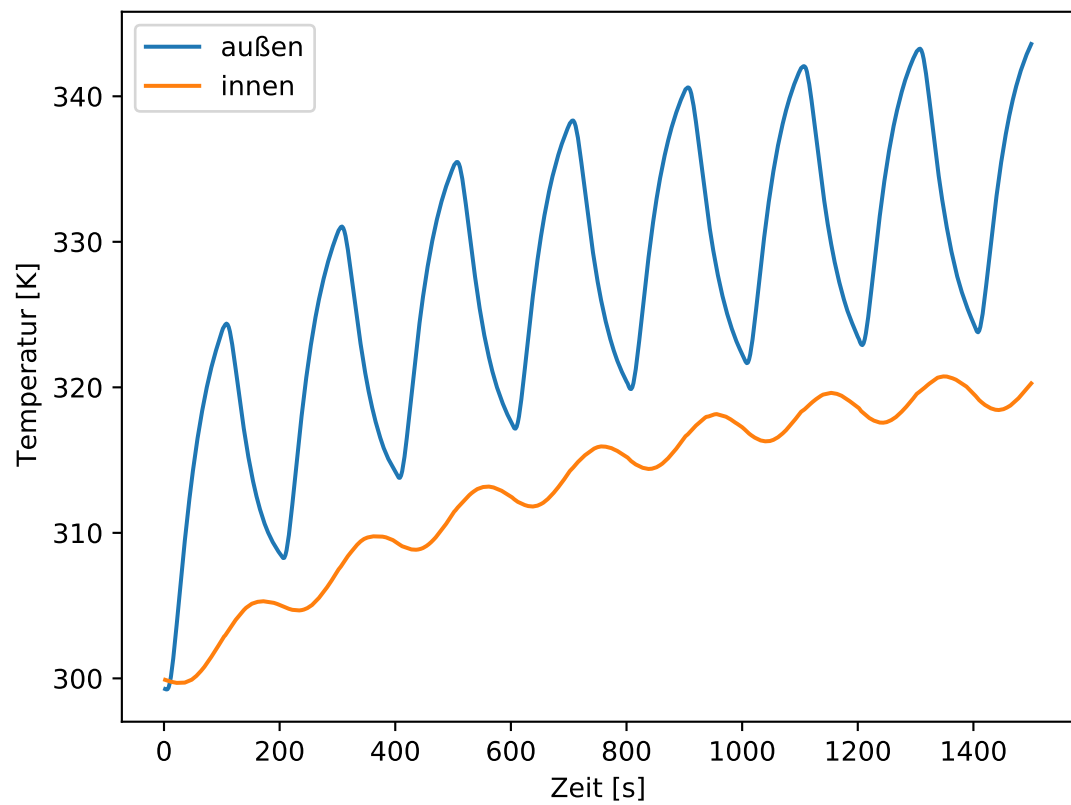


**Abbildung 5:** Temperaturverlauf des breiten Messingstabs

Messing: Amplitudenberechnung, Phasendifferenz Wärmeleitfähigkeit  
Aluminium: Amplitudenberechnung, Phasendifferenz Wärmeleitfähigkeit  
Edelstahl: Amplitudenberechnung, Phasendifferenz Wärmeleitfähigkeit  
Tabelle : Amplituden A1 A2 Phasendifferenz



**Abbildung 6:** Temperaturverlauf des Aluminiumstabs



**Abbildung 7:** Temperaturverlauf des Edelstahlstabs

daraus mittelwert, Fehler dann k mit fehlerberechnung nach gauß

## **4 Diskussion**

### **4.1 statische Messung**

Temperaturverläufe ferne Thermoelemente vergleichen Gemeinsamkeiten, Unterschiede

Beste Wärmeleitung Temperatur nach 650s

Wärmeströme vergleichen mit Literatur

Temperaturdifferenzen vergleichen

### **4.2 dynamische Messung**