

Zusammenfassung

v204 - Wärmeleitung

Max Rademacher
max.rademacher@tu-dortmund.de

24.06.2024

TU Dortmund – Fakultät Physik

1 Ziel

Untersuchung der Wärmeleitung von Aluminium, Messing, Edelstahl

2 Theorie

- bei Temperaturungleichgewicht kommt es zu Wärmetransport (**Konvektion**, **Wärmestrahlung**, **Wärmeleitung**)
- Wärmetransport über frei bewegliche Elektronen und Phononen \rightarrow Transport stehts in Richtung des Temperaturgefälles
- bei Wärmeungleichgewicht tritt Wärmemenge

$$dQ = -\kappa A \frac{\partial T}{\partial x} dt$$

über (κ : Wärmeleitfähigkeit, A : Querschnitt, T : Wärmewellenfunktion)

- Wärmestromdichte

$$j_w = -\kappa \frac{\partial T}{\partial x}$$

- Wärmeleitungsgleichung

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \sigma_T \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, c : \text{spezifische Wärme}, \rho : \text{Dichte}$$

mit $\sigma_T = \frac{\kappa}{\rho c} \rightarrow$ „Schnelligkeit“ des Temperatúrausgleichs

- Bei periodischem Erhitzen und Kühlen von einem Stab mit Periode $T \rightarrow$ Wärmewellen:

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

- Phasengeschwindigkeit

$$v = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{2\kappa\omega}{\rho c}}, \omega = \frac{2\pi}{T}$$

- Berechnung der Wärmeleitfähigkeit κ nach

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

Aluminium			Edelstahl		
ρ [kg/m ³]	c [J/(kg K)]	κ [W/(m K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg K)]	κ [W/(m K)]
2800	830	237	8000	400	15

Tabelle 2: Die Dichte ρ , die spezifische Wärme c und die Wärmeleitfähigkeit κ von Messing und Wasser.

Messing			Wasser		
ρ [kg/m ³]	c [J/(kg K)]	κ [W/(m K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg K)]	κ [W/(m K)]
8520	385	120	1000	4183	0,6

Abbildung 1: Werte der Metalle und von Wasser.

2.1 Wärmeleitfähigkeit und Dichte

2.2 Wärmetransport durch Phononen

- transportieren Wärme, Schall und Weiteres
- Hauptträger von Wärme in Nichtmetallen → Wechselwirkung zwischen Phononen und Atomen
- elektromagnetische Teilchen, die sowohl Teilchen-/Welleneigenschaften haben

3 Durchführung/Auswertung

3.1 Aufbau

- Grundplatte mit vier Probenstäben (Aluminium, 2 mal Messing, Edelstahl)
- Kühlung und Heizung durch Peltierelement
- Messung der Temperaturen an jeweils zwei Stellen (siehe Abbildung), Speicherung mithilfe von Datenlogger nach konfigurierbarer Zeit
- Betriebsspannung 5 V für statische Methode, 8 V für dynamische Methode
- Wärmeisolator wird bei Durchführung auf Stäbe gelegt, entfernen bei Kühlung der Stäbe nach Messungen

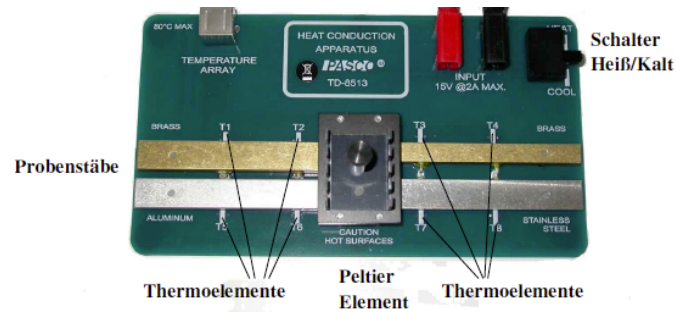


Abbildung 2: Versuchsaufbau.

3.2 statische Methode

3.2.1 Durchführung

- Berechnung der Wärmeleitfähigkeit durch Vermessen des Temperaturverlaufs einer Probe an zwei verschiedenen Stellen
- Spannung auf 5 V stellen, Messung der Temperaturen in 10 s-Intervallen, bis das ferdere Temperaturelement T7 von Edelstahl 45 °C angibt
 - anschließender Vergleich der Temperaturverläufe von (T1, T4) und (T5,T8)

3.2.2 Auswertung

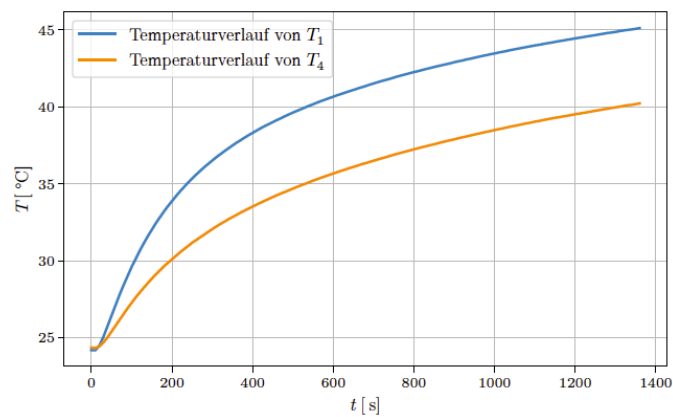


Abbildung 3: Wärmeverlauf von breitem (T1) und schmalem (T4) Messing

- exponentielle Verläufe gegen Sättigungswert
- sichtbar ist, dass das breite Messingstück über die Zeit die Wärme besser transportieren kann, als das schmale Messingstück

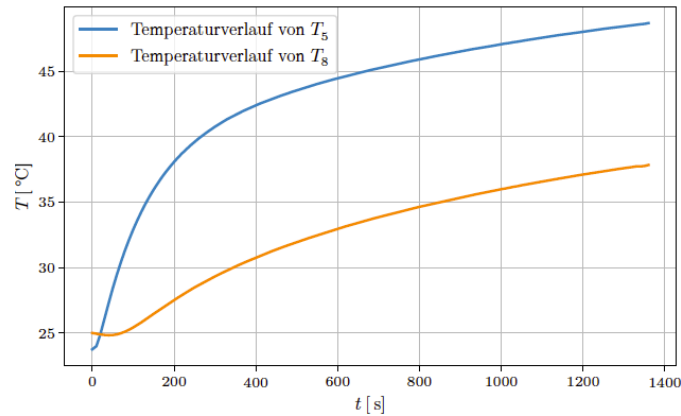


Abbildung 4: Wärmeverlauf von Edelstahl (T5) und Aluminium (T8)

- im zweiten Plot ist erkennbar, dass Aluminium besser die Wärme transportiert, als Edelstahl
- Insgesamt transportiert Aluminium am effektivsten die Wärme
- Wärmestrom vom Aluminium bezeugt beste Wärmeleitfähigkeit, da schneller Abfall der Wärmeströme über die Zeit → effektivste Wärmeleitung

t [s]	Messing		Messing (schmal)	
	$T_2 - T_1$ [K]	$\Delta Q_{21}/\Delta t$ [W/s]	$T_3 - T_4$ [K]	$\Delta Q_{34}/\Delta t$ [W/s]
100	3,77	-0,71	2,63	-0,29
300	2,58	-0,48	2,38	-0,26
600	2,15	-0,40	2,17	-0,24
900	2,10	-0,39	2,15	-0,24
1200	2,11	-0,40	2,15	-0,24

Tabelle 6: Wärmestrom von Aluminium und Edelstahl.

t [s]	Aluminium		Edelstahl	
	$T_6 - T_5$ [K]	$\Delta Q_{65}/\Delta t$ [W/s]	$T_7 - T_8$ [K]	$\Delta Q_{78}/\Delta t$ [W/s]
100	1,49	-0,55	6,17	-0,14
300	0,39	-0,14	8,23	-0,19
600	0,14	-0,05	7,50	-0,18
900	0,09	-0,03	7,30	-0,17
1200	0,09	-0,03	7,23	-0,17

Abbildung 5: Wärmeströme der Metalle

- Temperaturdifferenzen von breitem Messing und Edelstahl

- Temperaturdifferenzen zwischen Thermoelementen von Edelstahl größer als von Messing
- \Rightarrow Messing transportiert Wärme besser und schneller als Edelstahl

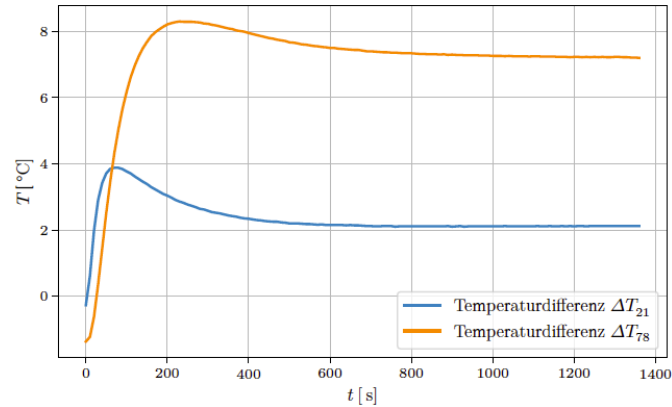


Abbildung 6: Temperaturdifferenzen Edelstahl und Messing

3.3 dynamische Methode (Änströmmethode)

3.3.1 Durchführung

- periodisches Heizen des Probenstabs \rightarrow Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit aus der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Temperaturwelle
- Abtastrate auf 2 s einstellen und Heizspannung auf 8 V \rightarrow periodisches Heizen des Stabs in 80 s-Intervallen (40 s heizen, 40 s kühlen)
- grafische Darstellung der Temperaturverläufe von T1 und T2 \rightarrow Ermittlung der Temperaturwellen
- nun periodisches Heizen in 200 s-Intervallen, bis ein Thermoelement 80 $^{\circ}\text{C}$ anzeigt \rightarrow Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit von Edelstahl durch Phasendifferenz Δt aus Temperaturverlaufgrafik

3.3.2 Auswertung

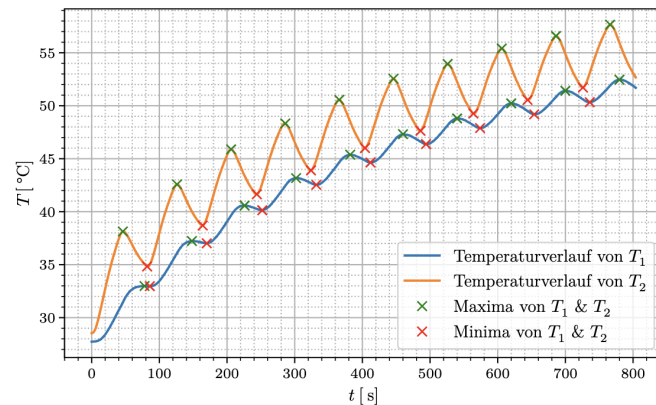


Abbildung 7: Temperaturwellen von breitem Messing

- Wärmekapazität von Messing aus Temperaturwellen: $\kappa_{\text{Messing}} \approx 100 \text{ W}/(\text{m K})$
mäßige Abweichung von Theorie ($\approx 120 \text{ W}/(\text{m K})$)
- Wärmekapazität von Aluminium (ohne Grafik): $\kappa_{\text{Aluminium}} \approx 200 \text{ W}/(\text{m K})$ geringe
Abweichung von Theorie ($\approx 230 \text{ W}/(\text{m K})$)

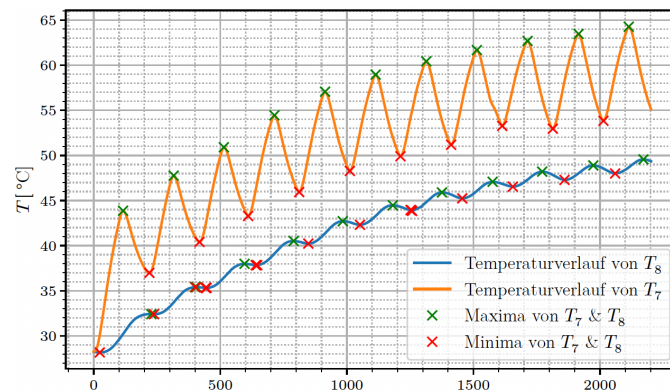


Abbildung 8: Temperaturwellen von Edelstahl

- Wärmekapazität von Edelstahl aus Temperaturwellen $\kappa_{\text{Edelstahl}} \approx 10 \text{ W}/(\text{m K})$
mäßige Abweichung von Theorie ($15 \text{ W}/(\text{m K})$)

3.4 Allgemeines zur Diskussion

- allgemein eine gute Abschätzung der Wärmeleitfähigkeit der Metalle

- Isolator kann nicht perfekt Temperatur isolieren → möglicher Grund für Abweichungen
- Durch lange Betriebsdauer sind Fluktuationen in Strom und Spannung möglich, die Auswirkungen auf die Temperaturen haben
- Alter des Versuchsaufbaus kann Ursache für Abweichungen sein