

V204: Wärmeleitung in Metallen

Stichworte

Wärmeleitungs- und Diffusionsgleichung, Temperaturnausgleich, Wärmekapazität, statische und dynamische Messung.

Wärmeleitfähigkeit, Temperaturleitfähigkeit, der Unterschied der beiden Leitfähigkeiten.

Zielsetzung

Eine der Wärmetransportmöglichkeiten, die Wärmeleitung, wird untersucht. Hierzu werden verschiedene Metalle verschiedener Abmessung erhitzt und die Temperaturentwicklung gemessen.

Theorie

Ist in einem abgeschlossenen System ein Temperaturunterschied vorhanden, findet Wärmetransport statt, um ein Temperaturgleichgewicht zu erreichen.

Konvektion Fluide verschiedener Temperaturen vermischen mitunter chaotisch, Videostichwort: Konvektionsströme.

Wärmestrahlung Abgabe von Wärme via em-Wellen, nicht an Materie gebunden.

Wärmeleitung

Beim Übergang der Wärmeenergie werden quantisierte Schwingungen innerhalb der Gitterstrukturen des Metalls

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

übertragen, die Materialkonstante κ ist die Wärmeleitfähigkeit. Mithilfe der (geforderten) Kontinuität wird die Wärmeleitungsgleichung

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

formuliert, in welcher die Konstanten als Temperaturleitfähigkeit σ_T zusammengefasst werden. c beschreibt dabei allerdings die spezifische Wärme(-kapazität), die benötigte Energiemenge, um 1 kg um 1 K zu erwärmen. Werden Körper durch periodischen Temperaturwechsel geheizt und gekühlt, breiten sich in Innern Temperaturwellen der Form

$$T(x, t) = \underbrace{T_{\max}}_{\text{Amplitude}} \underbrace{\exp\left(-\sqrt{\frac{\omega\rho c}{2\kappa}} x\right)}_{\text{Dämpfung}} \underbrace{\cos\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega\rho c}{2\kappa}} x\right)}_{\text{Schwingung}} \quad (3)$$

aus. Dies ist eine spezielle Lösung der Wärmeleitungsgleichung (2).

Die Dispersionsgleichung lautet

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{\omega}{\sqrt{\frac{\omega \rho c}{2\kappa}}} = \sqrt{\frac{2\kappa\omega}{c\rho}}. \quad (4)$$

Über weitere Formeln wird die Gleichung

$$\kappa = \frac{c\rho(\Delta x)^2}{2\Delta t \ln\left(\frac{A_{\text{nah}}}{A_{\text{fern}}}\right)} \quad (5)$$

gefunden, die die Wärmeleitfähigkeit mit Messgrößen knüpft. $\frac{A_{\text{nah}}}{A_{\text{fern}}}$ ist das Verhältnis der Wellenamplituden, welche an zwei Orten x_1 und x_2 im Abstand $\Delta x = x_2 - x_1$ gemessen werden und den zeitlichen Gangunterschied Δt aufweisen.

Durchführung

Thermoelemente und Peltier-Elemente sind Gegenspieler. Mithilfe eines Peltier-Elementes (zwei Halbleiter vers. Energieniveaus) kann geheizt und gekühlt werden, indem Wärme per Peltier-Effekt transportiert wird. Die Heizwirkung erfolgt *nicht* durch die thermische Wirkung von Strom. Thermoelemente geben eine Spannungsdifferenz aus, wenn zwischen den Temperaturfühlern eine Temperaturdifferenz besteht. Die Spannungsdifferenz kann durch Eichung/Kalibration in eine Temperatur umgerechnet werden. Alle Messungen startet bei abgekühlten Stäben.

Bei statischer Messung werden die benutzten Stäbe aus vers. Metallen durchgehend geheizt und die Temperaturentwicklung entlang des Stabes untersucht. Bei dynamischer Messung werden im 40s-Wechsel (Kurzintervall-Messung) oder im 200s-Wechsel (Langintervall-Messung) die Stäbe gekühlt und geheizt.

Auswertung

Statische Messung:

- Der allgemeine Verlauf der Temperatur ist unabhängig von dem Material: begrenztes exp. Wachstum.
- Durch schmale Stäbe wird weniger Wärme transportiert als durch breite.
- Je höher die Leitfähigkeit, desto schneller erfolgt der Wärmeaustausch

Dynamische Messung:

Der Temperaturverlauf besteht aus Schwingterm und exponentiellem Ansteigen: der Stab wärmt sich im Mittel während der Messung langsam auf. Nach Subtraktion der exponentiellen Steigung kann die globale Staberwärmung bestimmt und herausgerechnet werden. Dies ermöglicht eine präzise Bestimmung der Amplitude

- Die Temperaturamplitude wird innerhalb des Stabes gedämpft, die Frequenz bleibt gleich, es ist eine Phasendifferenz erkennbar.

- Die Amplitudendämpfung ist bei Edelstahl sehr stark, bei Alu sehr gering.

Diskussion

- Es ergeben sich Abweichungen im Rahmen einer brauchbaren Messung, Abweichung im Bereich von 10%.
- Aluminium in der Auswahl der Metalle die größte und Edelstahl die geringste Wärmeleitfähigkeit.
- Literaturwerte
Messing: $120 \text{ W}/(\text{m K})$ Aluminium: $236 \text{ W}/(\text{m K})$ Edelstahl: $15 \text{ W}/(\text{m K})$

Merke

Datenlogger sind doof.