


ZIEL

Messung der Wärmeleitung in Metallstäben.

AUFGABEN

- Messung des Temperaturverlaufes längs einseitig geheizten und einseitig gekühlten Metallstäben im nichtstationären und stationären Zustand.
- Messung des Wärmestroms im stationären Zustand.
- Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des Stabmaterials.

ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Wärmeleitung wird Wärme von einem wärmeren in einen kälteren Bereich durch die Wechselwirkung zwischen benachbarten Atomen oder Molekülen übertragen, ohne dass diese selbst transportiert werden. In einem zylindrischen Metallstab, dessen Enden auf unterschiedlichen Temperaturen gehalten werden, stellt sich nach einiger Zeit ein Temperaturgradient entlang des Stabes ein, so dass die Temperatur gleichmäßig zum kälteren Ende hin abnimmt und ein konstanter Wärmestrom fließt. Der Übergang vom nichtstationären zum stationären Zustand wird durch wiederholte Messreihen beobachtet, bei denen jeweils die Temperatur an den Messstellen bestimmt wird. Die Metallstäbe werden elektrisch geheizt, daher kann der Wärmestrom im stationären Zustand aus der elektrischen Leistung bestimmt werden.

BENÖTIGTE GERÄTE

Anzahl	Geräte	Art.-Nr.
1	Gerätesatz Wärmeleitung	1017329
1	Wärmeleitstab Aluminium	1017331
1	Wärmeleitstab Kupfer	1017330
1	DC-Netzgerät 0-20 V, 0-5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 oder
	DC-Netzgerät 0-20 V, 0-5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Digital-Sekunden-Taschenthermometer	1002803
1	Tauchfühler NiCr-Ni Typ K -65-550°C	1002804
1	Paar Sicherheitsexperimentierkabel, 75cm, rot/blau	1017718
1	Satz 10 Bechergläser, niedrige Form	1002872

1

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Wärme kann durch Wärmeleitung, Wärmestrahlung und Konvektion von einem wärmeren in einen kälteren Bereich übertragen werden. Bei der Wärmeleitung findet dieser Energietransport durch die Wechselwirkung zwischen benachbarten Atomen oder Molekülen statt, ohne dass diese selbst transportiert werden. Bei der Erwärmung z.B. eines Metallstabes schwingen die Atome am warmen Ende stärker, d.h. mit einer höheren Energie als am kalten Ende. Die Energie wird durch Stöße mit benachbarten Atomen an diese abgegeben und so durch den Stab geleitet. Metalle sind besonders gute Wärmeleiter, da noch Stöße zwischen freien Elektronen und Atomen hinzukommen.

In einem Stab mit der Querschnittsfläche A , dessen Enden auf unterschiedlichen Temperaturen gehalten werden, stellt sich nach einiger Zeit ein Temperaturgradient entlang des Stabes ein, so dass die Temperatur T gleichmäßig zum kälteren Ende hin abnimmt. Dabei fließt in einer Zeit dt eine Wärmemenge dQ durch den Querschnitt des Stabes, und es stellt sich ein konstanter Wärmestrom P_Q ein:

$$(1) \quad P_Q = \frac{dQ}{dt} = \lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

 P_Q : Wärmestrom (gemessen in Watt)

 A : Querschnittsfläche des Stabes

 λ : Wärmeleitfähigkeit des Stabmaterials

 T : Temperatur, x : Ortskoordinate entlang des Stabes

Bevor der konstante Temperaturgradient erreicht ist, hat der Stab zur Zeit t eine Temperaturverteilung $T(x,t)$, die sich allmählich dem stationären Zustand nähert. Es gilt die Differentialgleichung

$$(2) \quad \lambda \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}(x,t) - c \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t}(x,t) = 0$$

 c : spezifische Wärme und ρ : Dichte des Stabmaterials

Im stationären Fall ist in Übereinstimmung mit Gl. (1)

$$(3) \quad \frac{\partial T}{\partial t}(x,t) = 0 \quad \text{und} \quad \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x}(x,t) = \text{const.} = \frac{P_Q}{A}$$

Im Experiment wird der Stab an einem Ende elektrisch geheizt. Eine elektronisch geregelte Wärmequelle speist den Wärmeleitstab mit einem Wärmestrom, der als elektrische Leistung

$$(4) \quad P_{el} = U \cdot I$$

durch Messung der Heizspannung U und des Heizstromes I bestimmt werden kann. Die elektronische Regelung des Stromes sorgt dafür, dass das Stabende sehr schnell eine Temperatur von etwa 90°C erreicht, die dann konstant gehalten wird.

Über die Kühllamellen wird die Wärme am anderen Stabende an Eiswasser oder einfach an Wasser bei Raumtemperatur abgeführt. Die abgeführte Wärmeleistung kann also kalorimetrisch bestimmt werden.

Eine Isoliermanschette verringert die Wärmeabgabe des Wärmeleitstabes an die Umgebung und verbessert die Linearität des Temperaturprofils im stationären Zustand. Mit einem sekundenschnellen elektronischen Thermometer werden die Temperaturen an den vorgesehenen Messstellen längs des Stabes gemessen. Es stehen ein Kupferstab und ein Aluminiumstab zur Verfügung.

AUSWERTUNG

Der Wärmestrom P_Q entspricht der elektrischen Leistung P_{el} abzüglich einer geringen Verlustleistung P_l : $P_Q = P_{el} - P_l$

$$\text{Also ist:} \quad \lambda = \frac{P_{el} - P_l}{A} \cdot \frac{L}{T(0) - T(L)}$$

(L : Abstand zwischen den ausgewählten Temperaturmessstellen)

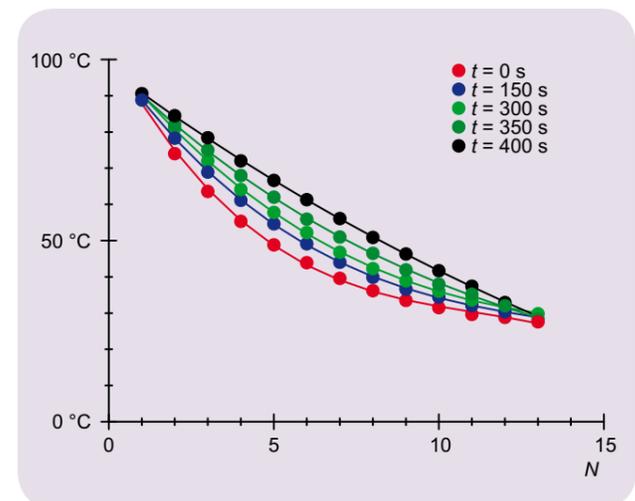


Abb. 1: Temperaturen längs des Aluminiumstabes in fünf Messreihen mit einem Zeitabstand von 150 s.