Elektrizitätslehre

Ladungstransport und Strom

Elektrische Leitung

BESTIMMUNG DER ELEKTRISCHEN LEITFÄHIGKEIT VON KUPFER UND ALUMINIUM

- **Messung des Spannungsabfalls *U* in Abhängigkeit vom Abstand *d* zwischen den Kontaktstellen bei festem Strom *I*.**
- **Messung des Spannungsabfalls *U* in Abhängigkeit vom Strom *I* bei festem Abstand *d* zwischen den Kontaktstellen.**
- **Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeiten von Kupfer und Aluminium und Vergleich mit den Literaturwerten.**

UE3020200

07/16 UD

Fig. 1: Messanordnung

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Die elektrische Leitfähigkeit eines Stoffes ist eine stark materialabhängige Größe. Sie ist definiert als Proportionalitätsfaktor zwischen der Stromdichte und dem elektrischen Feld im untersuchten Stoff. In Metallen wird sie durch die Anzahldichte und die Beweglichkeit der Elektronen im Leitungsband bestimmt und hängt von der Temperatur ab.

Aus der Beziehung

(1) $j = \sigma \cdot E$

j: Stromdichte, *E*: elektrisches Feld

folgt für einen langen metallischen Leiter mit dem Querschnitt *A* und der Länge *d* eine Beziehung zwischen dem Strom *I* durch den Leiter und der längs der Strecke *d* abfallenden Spannung *U*:

(2) $I = j \cdot A = A \cdot \sigma \cdot \frac{U}{d}$

Diese Beziehung wird im Experiment zur Bestimmung der Leitfähigkeit an Metallstäben in Vierleitermessung genutzt (Fig. 2). Dazu wird über zwei Zuleitungen ein Strom *I* aufgeprägt und der resultierende Spannungsabfall *U* zwischen zwei Kontaktstellen im Abstand *d* gemessen. Da der Querschnitt *A* bekannt ist, kann σ berechnet werden.

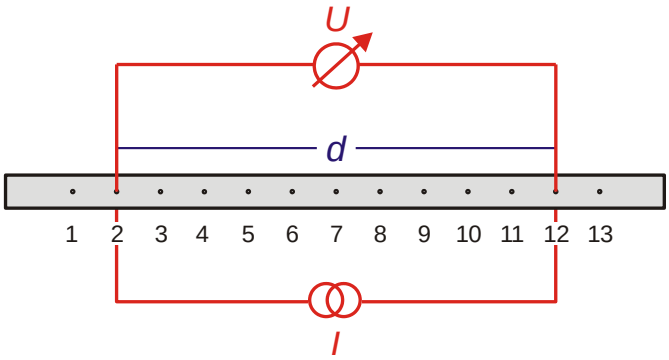

Fig. 2: Schematische Darstellung der Vierleitermessung

GERÄTELISTE

1	Wärmeleitstab Aluminium	1017331 (U8498292)
1	Wärmeleitstab Kupfer	1017330 (U8498291)
1	DC-Netzgerät 1 - 32 V, 0 – 20 A @230V	1012857 (U11827-230)
oder		
1	DC-Netzgerät 1 – 32 V, 0 – 20 A @115V	1012858 (U11827-115)
1	Mikrovoltmeter @230V	1001016 (U8530501-230)
oder		
1	Mikrovoltmeter @115V	1001015 (U8530501-115)
1	Digital-Multimeter E	1006809 (U8531050)
1	Satz 15 Experimentierkabel 2,5 mm²	1002841 (U13801)

AUFBAU

- Wärmeleitstab Kupfer bzw. Aluminium auf eine isolierende Unterlage legen.
- Ausgangsbuchse „–“ auf der Rückseite des Netzgerätes mit der seitlichen Bohrung in Höhe der zweiten Messstelle des Wärmeleitstabs verbinden (Fig. 2). Ausgangsbuchse „+“ auf der Rückseite des Netzgerätes mit der seitlichen Bohrung in Höhe der zwölften Messstelle des Wärmeleitstabs verbinden. Digital-Multimeter zur Strommessung in Reihe dazwischen schalten.
- Eingang des Mikrovoltmeters kurzschließen und Anzeige mit Hilfe des DC-Offset-Stellers auf Null abgleichen. Nullabgleich im Laufe der Messungen regelmäßig überprüfen.
- Zwei Messspitzen an den Eingang 4-mm-Sicherheitsbuchsen des Mikrovoltmeters anschließen.
- Am Mikrovoltmeter die obere Grenzfrequenz mit Hilfe des Drehreglers „Filter Hz“ auf „OFF“ und Messbereich bis 200 µV DC einstellen.

DURCHFÜHRUNG

Hinweise:
Maximale Strombelastung des Netzgerätes bis 20 A beachten.

Thermoelektrische Spannungen an den Messstellen können die Messgenauigkeit einschränken.

Der relative Abstand zwischen benachbarten Messstellen beträgt $d_{N+1} – d_N$ = 4 cm, d.h. $d_{N+k} – d_N = k \cdot 4$ cm.

Abstandsabhängigkeit

- Netzgerät so einstellen, dass ein Strom I von ca. 10 A durch den Wärmeleitstab fließt. Wert am Multimeter ablesen und notieren.
- Zweite Messstelle (N = 2) mit der Messspitze kontaktieren, die an die Massebuchse des Mikrovoltmeters angeschlossen ist.
- Dritte bis zwölfte Messstelle nacheinander mit der anderen Messspitze kontaktieren, die Spannungen U am Mikrovoltmeter ablesen und in Tab. 1 notieren.

Stromabhängigkeit

- Strom am Netzgerät von 1 A bis 10 A in 1 A-Schritten hochregeln. Werte am Multimeter ablesen und in Tab. 2 notieren.
- Bei jedem Messschritt die Spannung zwischen der zweiten und zwölften Messstelle (d = 40 cm) mit den Messspitzen messen (Polarität beachten), die Werte am Mikrovoltmeter ablesen und in Tab. 2 notieren.

MESSBEISPIEL

Tab. 1: Gemessene Spannungen in Abhängigkeit des Abstandes der Messstellen, I = 9,92 A (Kupfer) bzw. 9,90 A (Aluminium).

N	$d = d_N – d_2$	U / µV	
		Kupfer	Aluminium
3	4 cm	15,2	37,3
4	8 cm	29,1	75,6
5	12 cm	40,7	113,8
6	16 cm	58,6	151,2
7	20 cm	69,6	187,4
8	24 cm	82,5	231,0
9	28 cm	98,4	266,0
10	32 cm	113,9	303,0
11	36 cm	128,6	345,0
12	40 cm	140,7	382,0

Tab. 2: Gemessene Spannungen in Abhängigkeit des Stroms, d = 40 cm.

Kupfer		Aluminium	
I / A	U / µV	I / A	U / µV
1,01	14,4	1,01	40,5
2,00	27,5	2,00	80,7
2,99	41,3	2,99	118,6
3,99	52,5	4,00	154,7
4,99	67,3	4,99	194,6
5,99	82,5	5,99	230,0
6,99	95,4	6,99	269,0
7,99	112,7	7,99	312,0
8,99	128,3	8,99	344,0
9,91	139,7	9,91	382,0

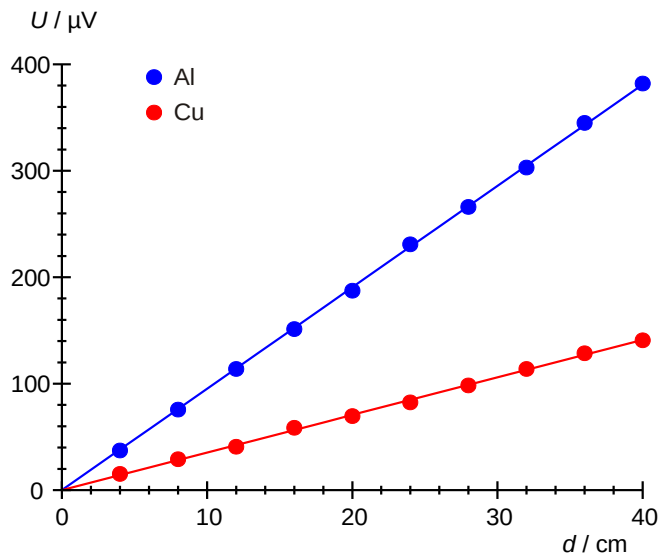

Fig. 3: *U-d*-Diagramm für Kupfer und Aluminium

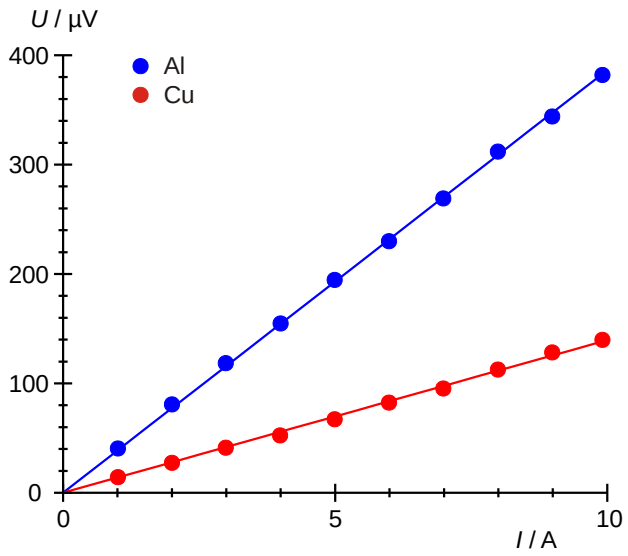

Fig. 4: *U-I*-Diagramm für Kupfer und Aluminium

AUSWERTUNG

Abstandsabhängigkeit

- Gemessene Spannungen *U* (Tab. 1) in Abhängigkeit der Abstände *d* für den Kupfer- und den Aluminium-Wärmeleitstab in einem Diagramm darstellen (Fig. 3) und jeweils eine Gerade an die Messpunkte anpassen.

Hinweis:
Kontaktspannungen zwischen Messspitze und Metallstab machen sich ggf. als Verschiebung der Geraden aus dem Ursprung bemerkbar.

Die Steigung der sich ergebenden Geraden ist gemäß (2)

$$(3) \quad \alpha = \frac{I}{A \cdot \sigma} .$$

Da *I* und *A* bekannt sind, kann die Leitfähigkeit berechnet werden:

$$(4) \quad \sigma = \frac{I}{A \cdot \alpha} = \left\{ \begin{array}{ll} \dfrac{9{,}92\ \text{A}}{490\ \text{mm}^2 \cdot 3{,}53\ \dfrac{\mu\text{V}}{\text{cm}}} = 57 \cdot 10^6\ \dfrac{\text{S}}{\text{m}} & \text{(Cu)} \\ \dfrac{9{,}92\ \text{A}}{490\ \text{mm}^2 \cdot 9{,}53\ \dfrac{\mu\text{V}}{\text{cm}}} = 21 \cdot 10^6\ \dfrac{\text{S}}{\text{m}} & \text{(Al)} \end{array} \right\}$$

Stromabhängigkeit

- Gemessene Spannungen *U* (Tab. 2) in Abhängigkeit des Stroms *I* für den Kupfer- und den Aluminium-Wärmeleitstab in einem Diagramm darstellen (Fig. 4) und jeweils eine Gerade an die Messpunkte anpassen.

Hinweis:
Kontaktspannungen zwischen Messspitze und Metallstab machen sich ggf. als Verschiebung der Geraden aus dem Ursprung bemerkbar.

Die Steigung der sich ergebenden Geraden ist gemäß (2)

$$(5) \quad \beta = \frac{d}{A \cdot \sigma}$$

Da *d* und *A* bekannt sind, kann die Leitfähigkeit berechnet werden:

$$(6) \quad \sigma = \frac{d}{A \cdot \beta} = \left\{ \begin{array}{ll} \dfrac{40\ \text{cm}}{490\ \text{mm}^2 \cdot 13{,}96\ \dfrac{\mu\text{V}}{\text{A}}} = 58 \cdot 10^6\ \dfrac{\text{S}}{\text{m}} & \text{(Cu)} \\ \dfrac{40\ \text{cm}}{490\ \text{mm}^2 \cdot 38{,}63\ \dfrac{\mu\text{V}}{\text{A}}} = 21 \cdot 10^6\ \dfrac{\text{S}}{\text{m}} & \text{(Al)} \end{array} \right\}$$

Das Messergebnis für Kupfer stimmt sehr gut mit dem Literaturwert für reines Kupfer $\sigma = 58 \cdot 10^6$ S/m überein. Der Vergleich des Messergebnisses für Aluminium mit dem Literaturwert für reines Aluminium $\sigma = 37 \cdot 10^6$ S/m zeigt, dass der verwendete Wärmeleitstab nicht aus reinem Material, sondern aus einer Aluminium-Legierung besteht.

Hinweis:
Im vorliegenden Experiment werden die gleichen Metallstäbe genutzt, an denen in Experiment UE2020100 die Wärmeleitung untersucht wurde. Mit zwei Messspitzen wird der Spannungsabfall zwischen den Messstellen gemessen, die auch zur Temperaturmessung längs der Stäbe genutzt werden können.

Durch Vergleich der Messwerte mit den in Experiment UE2020100 gewonnenen Werten für die Wärmeleitfähigkeit lässt sich das Wiedemann-Franz-Gesetz bestätigen. Es beschreibt die Proportionalität von Wärmeleitfähigkeit λ und elektrischer Leitfähigkeit σ von Metallen mit einem universellen temperaturabhängigen Proportionalitätsfaktor *L* (Lorenz-Zahl):

$$(7) \quad \frac{\lambda}{\sigma} = L(T) \cdot T .$$

T: Temperatur

© Copyright 2016 3B Scientific GmbH