

1 Messergebnisse

1.1 Abmessungen der verwendeten Proben

Bei der Probe Zink wurden folgende Maße genommen. Für die Vermessung wurde eine Schieblehre verwendet.

Höhe 0,026 03 m

Breite 0,044 06 m

Dicke 0,000 43 m

Für die Probe Kupfer wurden folgenden Maße genommen. Die Dicke der Probe wurde angegeben, die restlichen Maße wurden mit einer Schieblehre genommen.

Höhe 0,0280 m

Breite 0,0253 m

Dicke 0,000 018 m

1.2 Messung der Feldstärke bei variierendem Strom

I in A	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
B in mT	7,7	142	272	420	556	700	840	975	1077	1158	1220

Tabelle 1: B -Feldstärke bei steigender Stromstärke

I in A	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	1
B in mT	1220	1169	1095	977	845	703	563	422	279	138	8,3

Tabelle 2: B -Feldstärke bei fallender Stromstärke

1.3 Messdaten für die Bestimmung der Widerstände der Proben

I in A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U in mV	-0,02	14,13	27,7	41,1	55,5	68,3	81,5	94,7	107,1	120,3	133,7

Tabelle 3: Messdaten für die Probe Zink

I in A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U in mV	0	7,83	15,54	23,3	30,9	38,6	46,3	53,9	61,5	68,8	76,5

Tabelle 4: Messdaten für die Probe Kupfer

1.4 Messdaten für die gemessene Hall–Spannung bei konstantem Probenstrom

I_{Spule} in A	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
U in mV	0,644	0,648	0,651	0,654	0,657	0,659	0,661	0,663	0,664	0,665	0,666

Tabelle 5: Messdaten für Zink bei einem konstantem Probenstrom von 8 A

I_{Spule} in A	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
U in mV	−0,342	−0,340	−0,338	−0,336	−0,334	−0,332	−0,330	−0,328

Tabelle 6: Messdaten für Kupfer bei einem konstantem Probenstrom von 10 A

1.4.1 Daten nach Umpolung

I_{Spule} in A	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
U in mV	0,647	0,646	0,645	0,644	0,642	0,641	0,639	0,638	0,636	0,635	0,634

Tabelle 7: Messdaten für Zink bei einem konstantem Probenstrom von 8 A

I_{Spule} in A	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
U in mV	−0,340	−0,342	−0,343	−0,345	−0,347	−0,349	−0,351	−0,353

Tabelle 8: Messdaten für Kupfer bei einem konstantem Probenstrom von 10 A

1.5 Messdaten für die gemessene Hall-Spannung bei konstantem Spulenstrom

I_{Probe} in A	0	0,8	1,6	2,4	3,2	4	4,8	5,6	6,4	7,2	8
U in mV	−0,020	0,045	0,109	0,174	0,234	0,304	0,365	0,431	0,495	0,560	0,626

Tabelle 9: Messdaten für Zink bei einem konstantem Spulenstrom von 5 A

I_{Probe} in A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U in mV	-0,336	-0,338	-0,340	-0,342	-0,343	-0,345	-0,347	-0,348	-0,350	-0,351	-0,352

Tabelle 10: Messdaten für Kupfer bei einem konstantem Probenstrom von 3 A

1.5.1 Daten nach Umpolung

I_{Probe} in A	0	0,8	1,6	2,4	3,2	4	4,8	5,6	6,4	7,2	8
U in mV	-0,020	0,047	0,116	0,184	0,250	0,318	0,389	0,456	0,527	0,597	0,666

Tabelle 11: Messdaten für Zink bei einem konstantem Spulenstrom von 5 A

I_{Probe} in A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U in mV	-0,338	-0,337	-0,336	-0,335	-0,335	-0,334	-0,333	-0,332	-0,332	-0,332	-0,330

Tabelle 12: Messdaten für Kupfer bei einem konstantem Probenstrom von 3 A

2 Auswertung

2.1 Hystereseeffekt

In diesem Abschnitt wird der in dem Versuch auftretende Hystereseeffekt untersucht. Dazu wird die gemessene B -Feldstärke gegenüber der Stromstärke aufgetragen. Dabei wird einmal der Strom von 0 A bis auf 5 A aufgedreht und zum anderen der Strom von 5 A auf 0 A runtergedreht. Es wurden jeweils zehn Messungen erhoben. Die Messergebnisse sind in dem folgenden Diagramm visualisiert.

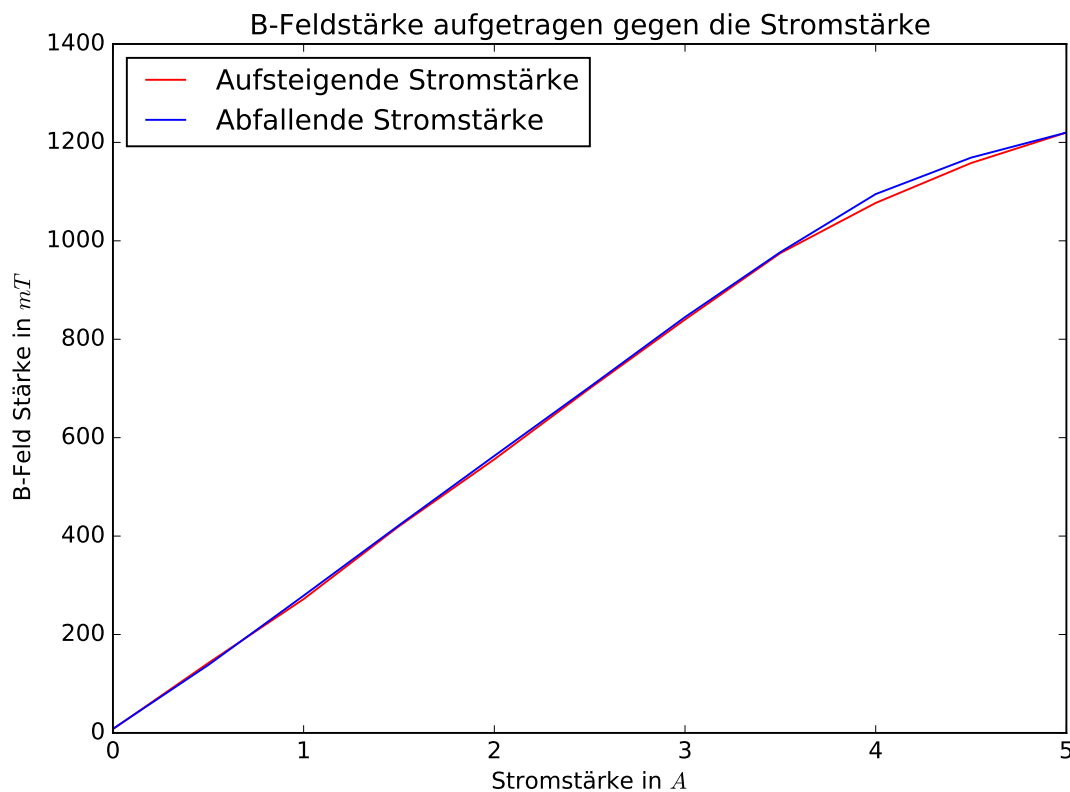


Abbildung 1: Der auftretende Hystereseeffekt

In dem Diagramm wird deutlich, dass sich die Verläufe der B -Feldstärke bei unterschiedlich geregelter Stromstärke kaum unterscheiden. Daran ist ersichtlich, dass der Hystereseeffekt bei der Auswertung der Messergebnisse nur einen vernachlässigbaren Einfluss besitzt.

Bei den im Versuch angestellten Messungen wurde stets die Stromstärke hochgeregelt, sodass die B -Feldstärke gegenüber des aufgedrehten Stroms verwendet wird, um den Proportionalitätsfaktor zwischen der Stromstärke I und B zu ermitteln. Der lineare Fit ist in dem folgenden Diagramm dargestellt.

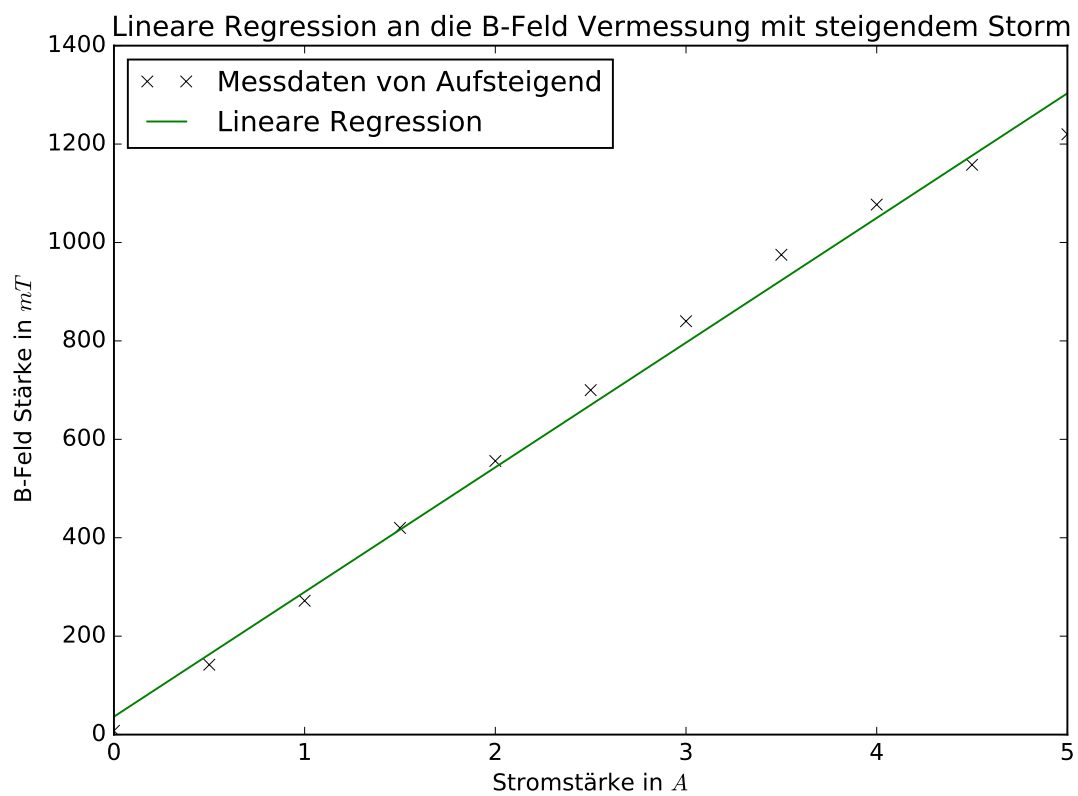


Abbildung 2: 'Lineare Regression an die B -Feldstärke bei aufsteigendem I

Als Proportionalitätsfaktor zwischen I und B ergibt sich somit $B = 253,35 * I$. Der Proportionalitätsfaktor wird als fehlerfrei angenommen.

2.2 Messung der Widerstände

Die Widerstände lassen sich über die Messergebnisse der Spannung bei variierender Stromstärke errechnen. Das Ohmsche Gesetz besagt, dass der Widerstand der Proportionalitätsfaktor zwischen der Spannung und der Stromstärke ist. In den folgenden Diagrammen ist die Spannung gegenüber der Stromstärke aufgetragen. Die Regressionsgerade wurde direkt in Diagramme integriert.

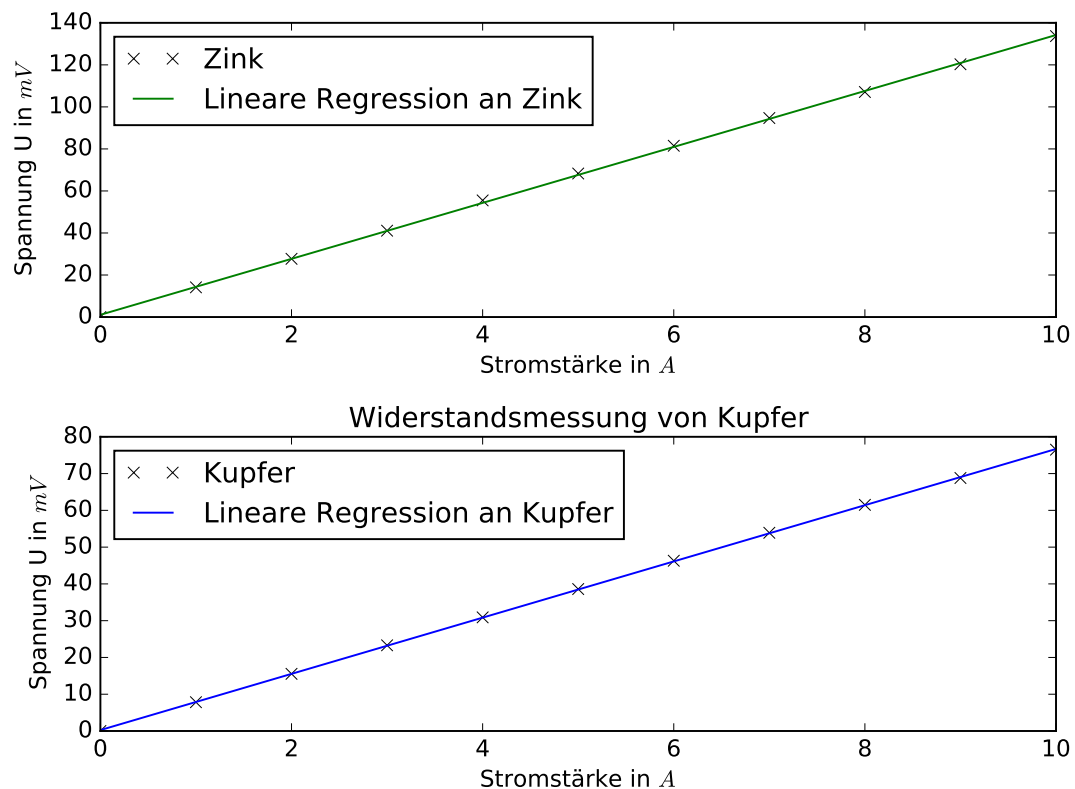
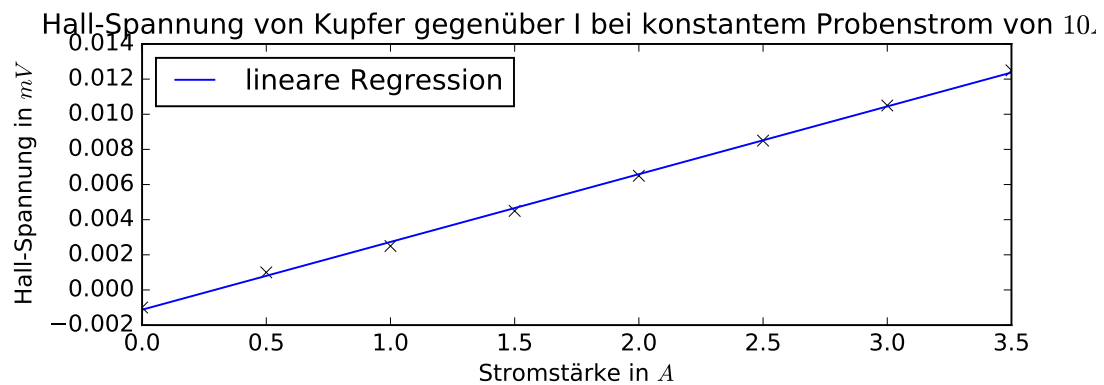
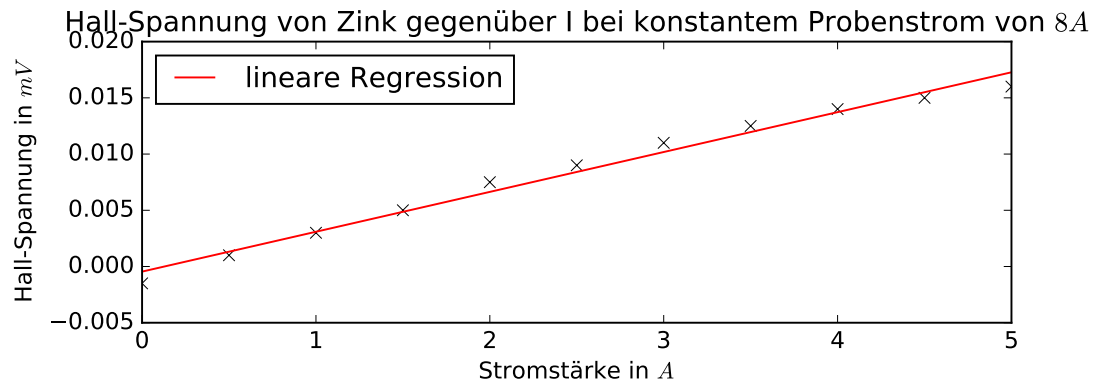


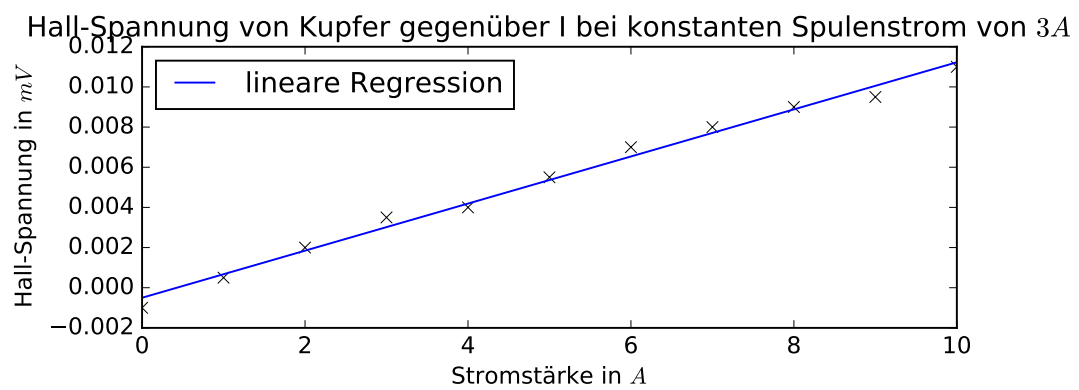
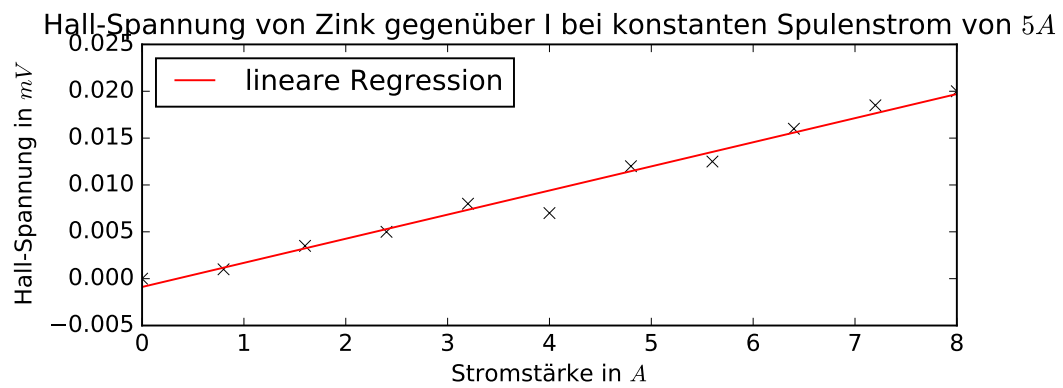
Abbildung 3: Diagramme der Widerstandsmessung

Es ergibt sich für die Zinkprobe ein gemessener Widerstand von $R_Z = (13,320 \pm 0,067) \text{ m}\Omega$. Für die Kupferprobe ergibt sich ein gemessener Widerstand von $R_K = (7,640 \pm 0,016) \text{ m}\Omega$.

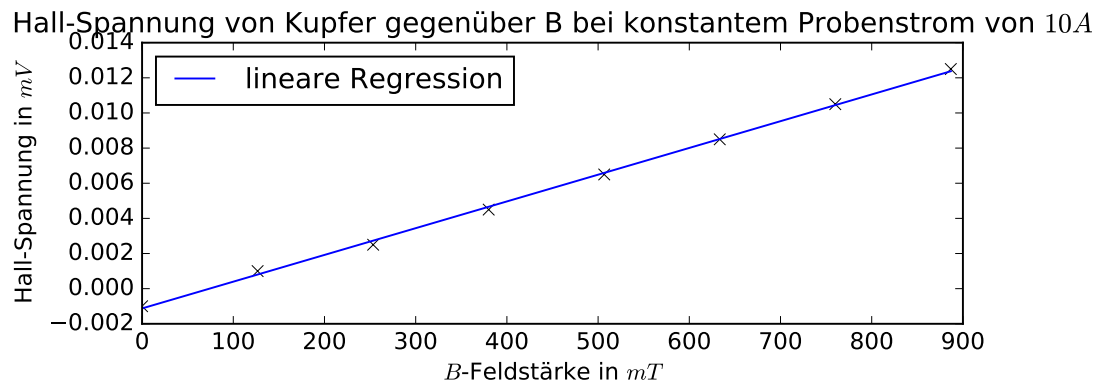
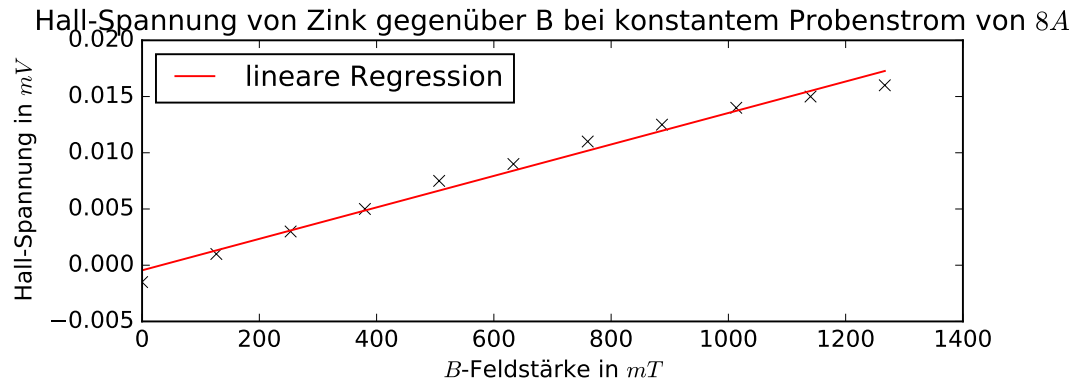
2.3 Bestimmen der Hall-Spannung U_H

Die Hall-Spannung wurde nun unter variierenden Bedingungen gemessen. Bei der ersten Messung wurde der Probenstrom konstant gelassen und der Spulenstrom aufgedreht, wodurch die B -Feldstärke erhöht wird. Bei der zweiten Messung wurde die vorgehensweise umgekehrt. Der Spulenstrom wurde konstant gelassen und der Probenstrom wurde aufgedreht. Die Messdaten der ersten Messung sind aus den Tabellen 5, 6, 7 und 8 zu entnehmen. Die Messdaten der zweiten Messung sind in den Tabellen 9, 10, 11 und 12 dargestellt. Die folgenden Diagramme visualisieren die gemessenen Daten.





Über den zuvor bestimmten Proportionalitätsfaktor kann die Hall-Spannung der B -Feldstärke gegenüber aufgetragen werden. Es ergeben sich damit die folgenden Diagramme.



2.4 Bestimmen mikroskopischer Leitfähigkeitsparameter

In diesem Abschnitt werden mit Hilfe der Messergebnisse für die Hall-Spannung und die Widerstände der Proben mikroskopische Leitfähigkeitsparameter bestimmt. Zuerst wurde die Ladungsträgeranzahl pro Volumen ermittelt. Diese ergibt sich aus umstellen der Formel (??) nach n zu:

$$n = -\frac{B \cdot I_q}{e_0 U_H d}. \quad (1)$$

Für die Messungen bei konstantem Probenstrom ergeben sich die Werte

$$n_{Zink} = (8,30 \pm 0,34) \cdot 10^{27} \frac{1}{\text{m}^3}$$

$$n_{Kupfer} = (2,278 \pm 0,300) \cdot 10^{29} \frac{1}{\text{m}^3}.$$

Für die Messungen bei konstantem Spulenstrom ergeben sich die Werte

$$n_{Zink} = (7,14 \pm 0,34) \cdot 10^{27} \frac{1}{\text{m}^3}$$

$$n_{Kupfer} = (2,25 \pm 0,07) \cdot 10^{29} \frac{1}{\text{m}^3}.$$

Die Zahl der Ladungsträger pro Atom z lässt sich über die folgende Formel bestimmen

$$z = n \cdot V \quad (2)$$

,wobei n die Ladungsträgerdichte pro Volumen ist und V das Molarevolumen ist.

Es ergeben sich für die Zahl der Ladungsträger pro Atom bei konstantem Querstrom die folgenden Werte

$$z_{Zink} = (0,0502 \pm 0,0021) \text{ mol/m}^3$$

$$z_{Kupfer} = (2,680 \pm 0,350) \text{ mol/m}^3.$$

Bei konstantem Spulenstrom ergeben sich

$$z_{Zink} = (0,0432 \pm 0,0021) \text{ mol/m}^3$$

$$z_{Kupfer} = (2,64 \pm 0,08) \text{ mol/m}^3.$$

Nach Bestimmen der Ladungsträgerdichte kann die mittlere Flugzeit $\bar{\tau}$ über die Formel (??) ermittelt werden. Aus den Messungen ergeben sich die folgenden Werte. Für die Ladungsträgerdichte bei konstantem Querstrom ergeben sich

$$\bar{\tau}_{Zink} = (2,53 \pm 0,10) \cdot 10^{-13} \text{ s}$$

$$\bar{\tau}_{Kupfer} = (2,046 \pm 0,027) \cdot 10^{-13} \text{ s}.$$

Für die Ladungsträgerdichte bei konstantem Spulenstrom ergeben sich

$$\begin{aligned}\bar{\tau}_{Zink} &= (2,94 \pm 0,14) \cdot 10^{-13} \text{s} \\ \bar{\tau}_{Kupfer} &= (2,07 \pm 0,06) \cdot 10^{-13} \text{s}.\end{aligned}$$

Die Driftgeschwindigkeit lässt sich durch den folgenden Zusammenhang berechnen.

$$v_d = -\frac{j}{n \cdot e_0} \quad (3)$$

Dabei ist j die Stromdichte und n die Ladungsträgerdichte pro Volumen. Für die Driftgeschwindigkeit bei konstantem Querstrom ergeben sich

$$\begin{aligned}v_{d,Zink} &= (7,52 \pm 0,31) \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ v_{d,Kupfer} &= (2,74 \pm 0,04) \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}}.\end{aligned}$$

Für die Driftgeschwindigkeit bei konstantem Spulenstrom ergeben sich

$$\begin{aligned}v_{d,Zink} &= (8,7 \pm 0,4) \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ v_{d,Kupfer} &= (2,78 \pm 0,08) \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}}.\end{aligned}$$

Damit die Totalgeschwindigkeit $|\bar{v}|$ und die mittlere freie Weglänge \bar{l} ermittelt werden kann muss die Fermie-Energie der Proben bestimmt werden. Es gelten die folgenden Beziehungen.

$$E_F = \frac{h^2}{2m_0} \sqrt[3]{\left(\frac{3}{8\pi}n\right)^2} \quad (4)$$

$$|\bar{v}| \approx \sqrt{\frac{2E_F}{m_0}} \quad (5)$$

$$\bar{l} \approx \bar{\tau} \sqrt{\frac{2E_F}{m_0}}. \quad (6)$$

Somit lässt sich die Totalgeschwindigkeit allein durch das Bestimmen von n approximieren.

Aus den Messdaten ergeben sich für bei konstantem Querstrom

$$E_{F,Zink} = (2,39 \pm 0,07)\text{eV}$$

$$E_{F,Kupfer} = (0,218 \pm 0,002)\text{eV}.$$

Für die Messungen mit konstantem Spulenstrom ergibt sich

$$E_{F,Zink} = (2,17 \pm 0,07)\text{eV}$$

$$E_{F,Kupfer} = (0,216 \pm 0,004)\text{eV}.$$

Nun kann über die Formel (??) die Totalgeschwindigkeit errechnet werden. Die folgenden Werte sind bei konstantem Querstrom.

$$|\bar{v}|_{Zink} = (1,555 \pm 0,021) \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$|\bar{v}|_{Kupfer} = (4,692 \pm 0,020) \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Für die Messungen bei konstantem Spulenstrom ergeben sich die folgenden Werte.

$$|\bar{v}|_{Zink} = (1,48 \pm 0,023) \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$|\bar{v}|_{Kupfer} = (4,67 \pm 0,05) \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Desweiteren kann die mittlere freie Weglänge über (??) bestimmt werden. Für die Messdaten bei konstantem Querstrom ergeben sich

$$\bar{l}_{Zink} = (0,393 \pm 0,011)\mu\text{m}$$

$$\bar{l}_{Kupfer} = (0,960 \pm 0,009)\mu\text{m}.$$

Anhand der Messdaten bei konstantem Spulenstrom ergeben sich die folgenden Werte.

$$\bar{l}_{Zink} = (0,435 \pm 0,014)\mu\text{m}$$

$$\bar{l}_{Kupfer} = (0,969 \pm 0,020)\mu\text{m}$$

Zwischen $\bar{\tau}$ und der Beweglichkeit μ besteht der folgende Zusammenhang.

$$\mu = \frac{e_0}{2m_0} \bar{\tau} \quad (7)$$

Darüber ergeben sich bei konstantem Probenstrom die beiliegenden Werte.

$$\begin{aligned} \mu_{Zink} &= (0,0222 \pm 0,0009) \text{As}^2/\text{kg} \\ \mu_{Kupfer} &= (0,018\,00 \pm 0,000\,24) \text{As}^2/\text{kg} \end{aligned}$$

Bei konstantem Spulenstrom entstehen die Widerstandsmessung

$$\begin{aligned} \mu_{Zink} &= (0,0258 \pm 0,0012) \text{As}^2/\text{kg} \\ \mu_{Kupfer} &= (0,0182 \pm 0,0006) \text{As}^2/\text{kg}. \end{aligned}$$

3 Diskussion

Abschließend werden die Ergebnisse der Auswertung diskutiert und hingehend ihrer Aussagekraft bewertet. Zunächst werden mögliche Messungenauigkeiten erläutert. Die Maße der Proben wurde mittels einer Schieblehre gemessen. Die Proben wiesen dahingehend Mängel auf, dass ihre Maße nur ungenau bestimmt werden konnten, da sie durch vorherige Messungen anderer Gruppen schon deformiert waren. Zudem konnte die Dicke der Proben nur schwierig gemessen werden, da die Proben fixiert waren. In der Auswertung wurden die Maße als fehlerfrei angenommen, weshalb die Aussagekraft der ermittelten Größen eingeschränkt wird. Darüberhinaus machte das Voltmeter keinen zuverlässigen Eindruck, weil es häufig zwischen willkürlich scheinenden Werten herschwankte. Es musste ein Moment abgepasst werden, bei dem das Voltmeter zuverlässig schien. Die Messungen konnten aus diesem Grund auch nicht wiederholt werden, ohne völlig verschiedene Resultate zu erhalten. Die Magnetfeldstärke wurde mit Hilfe einer Hall-Sonde bestimmt werden und wurde ebenfalls als fehlerfrei angenommen. Dadurch wird die Aussagekraft der erhaltenen Ergebnisse weiter beschnitten. Anhand der aufgeführten Argumente wird deutlich, dass die Ergebnisse deutlich durch Messfehler in ihrer Aussagekraft beschränkt sind.

Ausgehend von der Tatsache, dass Kupfer ein Elektronenleiter ist, ist die Probe Zink als Löcherleiter zu bewerten.