

Versuch 311

Der Hall-Effekt

Sebastian Pape
sepa@gmx.de

Jonah Nitschke
lejonah@web.de

Durchführung: 20.12.2017

Abgabe: 10.01.2017

1 Einleitung

In dem folgenden Versuch geht es darum, mithilfe der Messungen der Hall-Spannung und des Widerstandes die mikroskopischen Leitfähigkeitsparameter von verschiedenen Metallen zu bestimmen. Für den folgenden Versuch wurden die Metalle Zink und Kupfer verwendet.

2 Theorie

2.1 Bandstruktur und elektrische Leitfähigkeit bei Kristallstrukturen

Grundlegend für den folgenden Versuch ist die Eigenschaft, dass sich in Metallatomen die Valenzelektronen abspalten können und mit benachbarten Valenzelektronen ein System bilden, dass dem Pauli-Prinzip unterliegt. Somit können die Energieniveaus in der Atomhülle als Energiebänder aufgefasst werden. Diese können sich einerseits überlappen, andererseits können jedoch auch Lücken auftreten, die als verbotene Zone beschrieben werden. Es handelt sich hierbei um Energiewerte, die die Elektronen nicht annehmen können.

Aus dem Pauli-Prinzip folgt des weiteren, dass Energiebänder nur eine begrenzte Anzahl an Elektronen aufnehmen können. Gefüllte Energiebänder können somit keine Energie mehr aufnehmen, lediglich teilweise gefüllte Bänder rufen die hohe elektrische Leitfähigkeit von Metallen hervor. Diese Bänder nennt man Leitungsbänder und ihre Elektronen werden als Leitungselektronen bezeichnet.

Die fehlende Leitfähigkeit bei Isolatoren lässt sich auf ein leeres oberes Band zurückführen, durch das die verbotene Zone zu breit ist um den Elektronen zu erlauben, die Lücke zu überspringen. Mithilfe der Quantentheorie kann nun gezeigt werden, dass ein idealer Metallkristall eine unendlich hohe elektrische Leitfähigkeit besitzen müsste. Die endliche Leitfähigkeit realer Proben beruht somit im weitesten Sinne auf Kristallaufbaufehlern.

2.2 Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit eines Metalles

Um die elektrische Leitfähigkeit eines Metalles zu bestimmen müssen vorher noch andere mikroskopische Größen bestimmt werden. Die mittlere Flugzeit $\bar{\tau}$ gibt zum Beispiel das gemittelte Zeitintervall zwischen den Zusammenstoß zweier Elektronen an.

Bei einem angelegten äußerem Feld \vec{E} erfährt das Elektron eine Beschleunigung \vec{b} in Richtung des E-Feldes und erfährt somit folgende Geschwindigkeitsänderung:

$$\vec{b} = -\frac{e_0}{m_0} \vec{E} \quad (1)$$

$$\Delta \vec{v} = \vec{b} \cdot \vec{\tau} = -\frac{e_0}{m_0} \vec{E} \vec{\tau}. \quad (2)$$

Da die Elektronen nach jedem Zusammenstoß zufällig in eine beliebige Richtung gestreut werden, beträgt die Startgeschwindigkeit in Richtung von \vec{E} im Mittel null. Somit kann über $\Delta \vec{v}$ noch die Driftgeschwindigkeit \vec{v}_d definiert werden:

$$\vec{v}_d = \frac{1}{2} \Delta \vec{v}. \quad (3)$$

Mit der im folgenden angegebenen Stromdichte lässt sich der Widerstand eines homogenen Leiters R als Kehrwert der elektrischen Leitfähigkeit S darstellen:

$$j = -n \vec{v}_d e_0 \quad (4)$$

$$I = \frac{1}{2} \frac{e_0^2}{m_0} n \vec{\tau} \frac{Q}{L} \quad (5)$$

$$R = \frac{1}{S} = 2 \frac{m_0}{e_0^2} \frac{1}{n \vec{\tau}} \frac{L}{Q}. \quad (6)$$

Mit dem Widerstand R und der elektrischen Leitfähigkeit S lassen sich nun die geometrieunabhängigen Größen, der spezifische Widerstand ρ und die spezifische Leitfähigkeit σ , über folgende Formeln ausdrücken:

$$\sigma = \frac{1}{2} \frac{e_0^2}{m_0} n \vec{\tau} \quad (7)$$

$$\rho = 2 \frac{m_0}{e_0^2} \frac{1}{n \vec{\tau}} \quad (8)$$

Mit den obigen Formeln wurde somit ein Zusammenhang zwischen mikroskopischen Größen zur Beschreibung der elektrischen Leitfähigkeit und messbaren makroskopischen Größen hergestellt.

2.3 Der Hall-Effekt

Um die zwei voneinander unabhängigen Größen n und $\bar{\tau}$ zu bestimmen muss nun ein weiterer messbarer makroskopischer Effekt betrachtet werden. Der Hall-Effekt wird hervorgerufen, wenn durch ein sich in einem Magnetfeld \vec{B} befindendes Metallstück Strom fließt. Aufgrund der auftretenden Lorentz-Kraft \vec{F}_L wird ein elektrisches Feld hervorgerufen, welches gerade groß genug wird um die Lorentz- Kraft zu kompensieren. Mithilfe dieses Effektes kann nun die Hall-Spannung bestimmt werden:

$$U_H = -\frac{1}{ne_0} \frac{B \cdot I_q}{d}. \quad (9)$$

Wie in der Formel schon erkennbar ist, lässt sich nun die Ladungsträgerdichte n bestimmen, da alle anderen vorkommenden Größen leicht messbar sind.

2.4 Bestimmung weiterer Leitfähigkeitsparameter

Mit den beiden oben beschriebenen Messungen lassen sich nun also die Leitfähigkeitsparameter $\bar{\tau}$ und n , sowie die Driftgeschwindigkeit \bar{v}_d bestimmen. Des weiteren soll die mittlere freie Weglänge \bar{l} , also die Entfernung zwischen zwei Zusammenstößen der Stoßpartner, mit der Beziehung $\bar{l} = \bar{\tau} \cdot |v|$ bestimmt werden.

$|v|$ steht hierbei für die Totalgeschwindigkeit der Elektronen, die von der Driftgeschwindigkeit abweicht. Sie kommt im Gegensatz zur Driftgeschwindigkeit nicht durch ein äußeres elektrisches Feld zustande, sondern durch die Wärmebewegung der Kristallbausteine. $|v|$ kann mithilfe der Fermi-Energie und dem Äquipartitionstheorem bestimmt werden und führt für die mittlere freie Weglänge somit auf folgende Formel:

$$|\bar{v}| \approx \sqrt{\frac{2E_F}{m_0}} \quad (10)$$

$$\bar{l} = \bar{\tau} \sqrt{\frac{2E_F}{m_0}} \quad (11)$$

Des weiteren soll der Proportionalitätsfaktor zwischen der Driftgeschwindigkeit und dem angelegtem E-Feld, auch Beweglichkeit genannt, bestimmt werden :

$$\vec{v}_d = \mu \vec{E} \quad (12)$$

2.5 Elektrizitätsleitung in Metallen mit positiver Ladungsträgerdichte

Wie am Anfang schon beschrieben, kann es teilweise vorkommen, dass sich zwei Energienbänder überlappen. Bei einem spontanem Wechsel von Elektronen zwischen zwei Bändern werden Lücken zurückgelassen, die ortsveränderlich sind und sich wie eine positive Ladung verhalten. Dieser Beitrag zur elektrischen Leitfähigkeit wird auch anormaler Hall-Effekt genannt, welcher nun ein umgekehrtes Vorzeichen besitzt und zur Bestimmung der Ladungsträgerart verwendet werden kann.

2.6 Messtechnische Hinweise

Ein Problem bei der Messung der Hall-Spannung ist die fehlende Möglichkeit, die beiden Kontaktstellen für das Multimeter auf einer Äquipotenzialebene anzuordnen. Um die so durch den Spannungsabfall auftretende Störspannung raus zu filtern, werden zwei Messungen angefertigt, zwischen denen das Magnetfeld einmal umgepolt wird. Mit folgender Formel lässt sich dann die eigentliche Hall-Spannung ausrechnen:

$$U_H = \frac{1}{2} \cdot (U_{\text{ges}+} - U_{\text{ges}-}) \quad (13)$$

3 Versuchsdurchführung und Versuchsaufbau

Als erstes wurde mithilfe eines Teslameters die magnetische Feldstärke zwischen den beiden Spulen für verschiedene Stromstärken gemessen. Dafür wurden zwei nebeneinander stehende Spulen in Reihe an einen Generator angeschlossen. Die Feldstärke wurde zwischen den beiden Spulen gemessen. Dabei wurden zwei Messungen vorgenommen, eine bei der die Stromstärke langsam erhöht wurde und eine weitere bei der die Stromstärke langsam gesenkt wurde, um eine Hystereskurve bestimmen zu können.

Anschließend wurde für beide Proben der Widerstand gemessen, indem mit einem Generator ein Strom an den Proben angelegt wurde und die Spannung mithilfe eines Multimeters gemessen wurde. Mithilfe einer Schieblehre wurden dann von beiden Proben die Abmessungen bestimmt.

Danach wurde die Messungen des Hall-Effektes bei der Zinkprobe vorgenommen. Dafür wurde als erstes der Strom, der durch die Probe fließt, konstant gelassen und der Spulenstrom verändert. Die Probe wird dafür zwischen den beiden Spulen befestigt. Es wurden zwei Messreihen angelegt, zwischen denen die Magneten einmal umgepolt wurden. Anschließend wurde noch eine Messung durchgeführt, in der der Spulenstrom konstant gelassen wurde, während der durch die Probe fließende Strom verändert wurde.

Bei der Messung für die Kupferprobe traten erhebliche Schwierigkeiten auf, so dass die Messung abgebrochen und mithilfe des anderen Versuchspaares eine zweite Kupferprobe

ausgewertet wurde. Für diese Probe wurden dann sowohl die Abmessungen als auch die Messung der Spannungen bei verschiedenen Stromstärken wiederholt.

4 Messergebnisse

4.1 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

4.2 Messung der Feldstärke bei variierendem Strom

| | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| <i>I</i> in A | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 |
| <i>B</i> in mT | 7,7 | 142 | 272 | 420 | 556 | 700 | 840 | 975 | 1077 | 1158 | 1220 |

Tabelle 1: *B*-Feldstärke bei steigender Stromstärke

| | | | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>I</i> in A | 5 | 4,5 | 4 | 3,5 | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 | 1 |
| <i>B</i> in mT | 1220 | 1169 | 1095 | 977 | 845 | 703 | 563 | 422 | 279 | 138 | 8,3 |

Tabelle 2: *B*-Feldstärke bei fallender Stromstärke

4.3 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

4.4 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

4.4.1 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

4.5 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

4.5.1 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

5 Auswertung

5.1 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 folgendem Diagramm visualisiert.

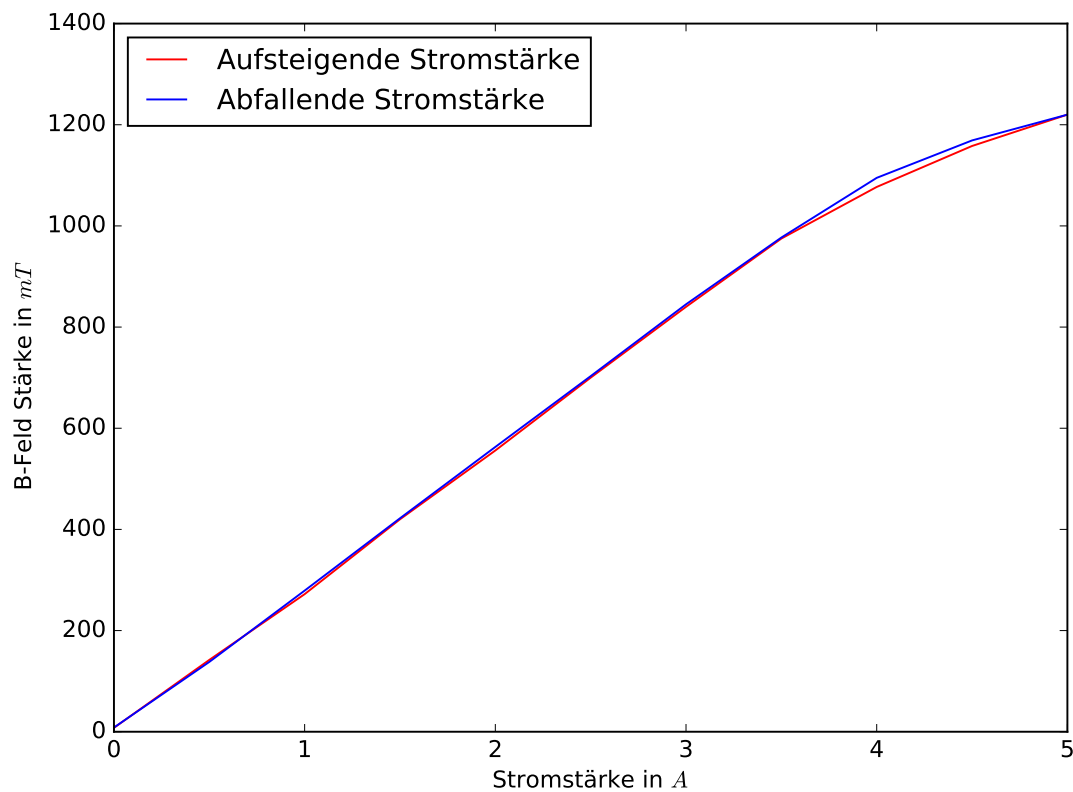


Abbildung 1: Der auftretende Hystereseeffekt: B-Feldstärke aufgetragen gegen die Stromstärke

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 folgendem Diagramm dargestellt.

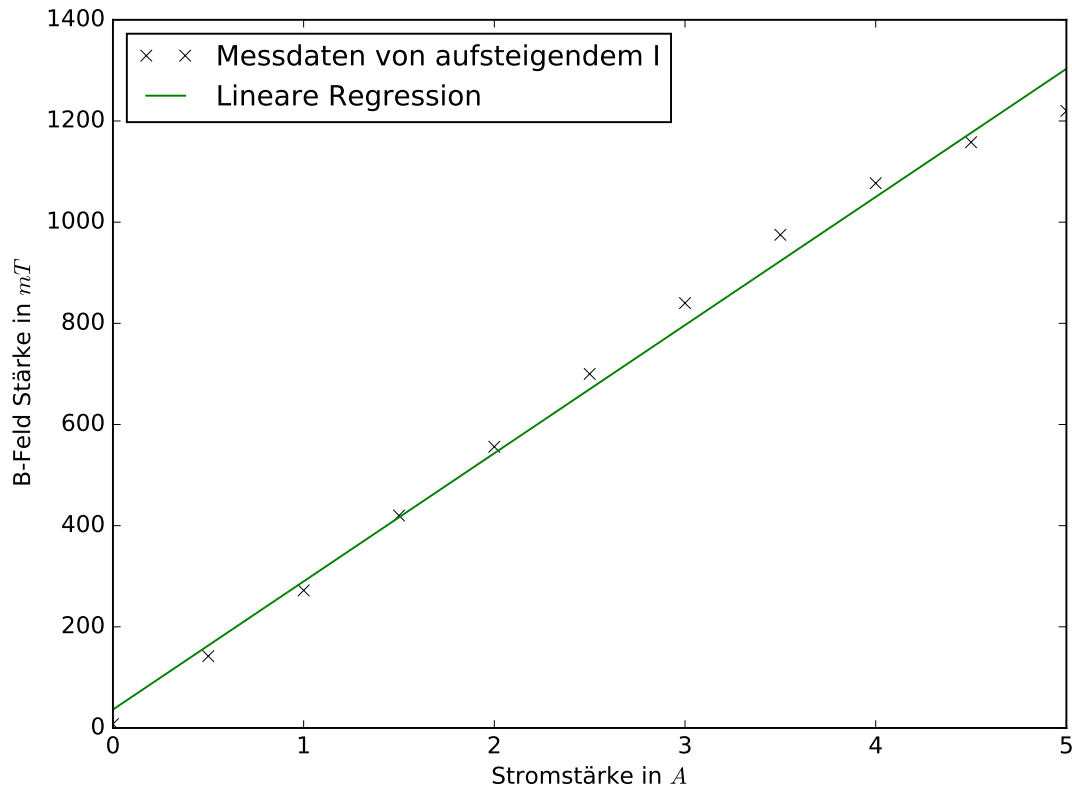


Abbildung 2: 'Lineare Regression an die B -Feldstärke bei aufsteigendem I

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

5.2 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.

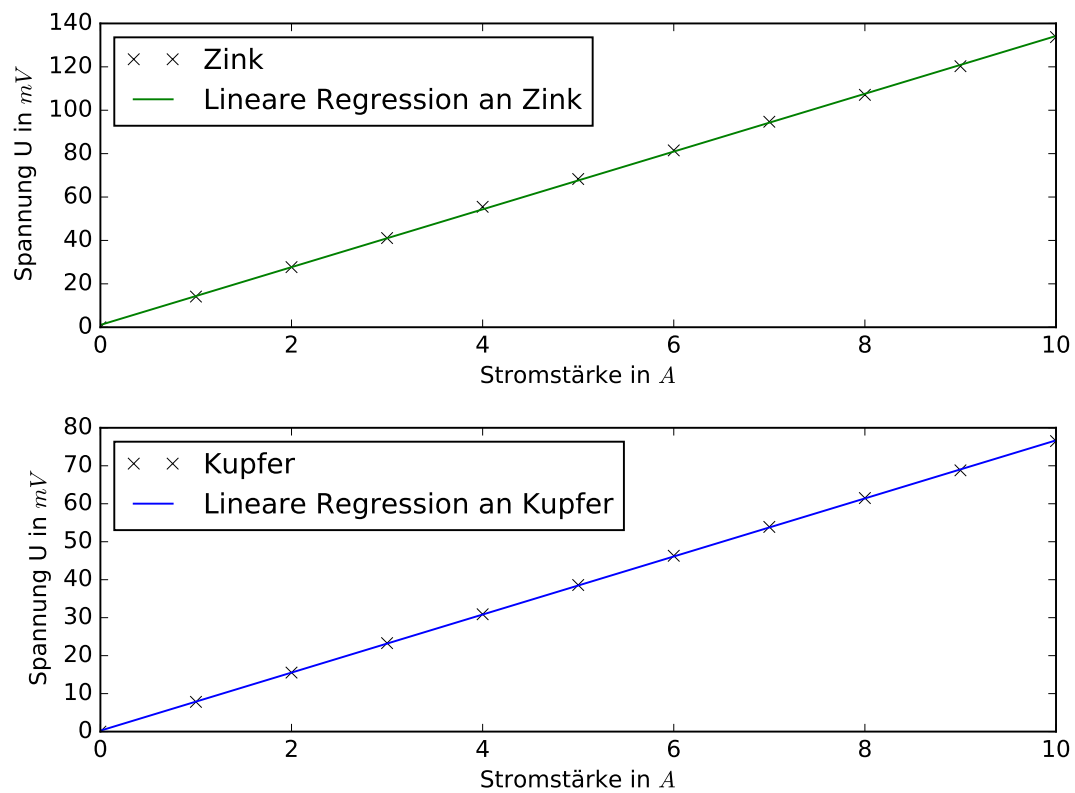
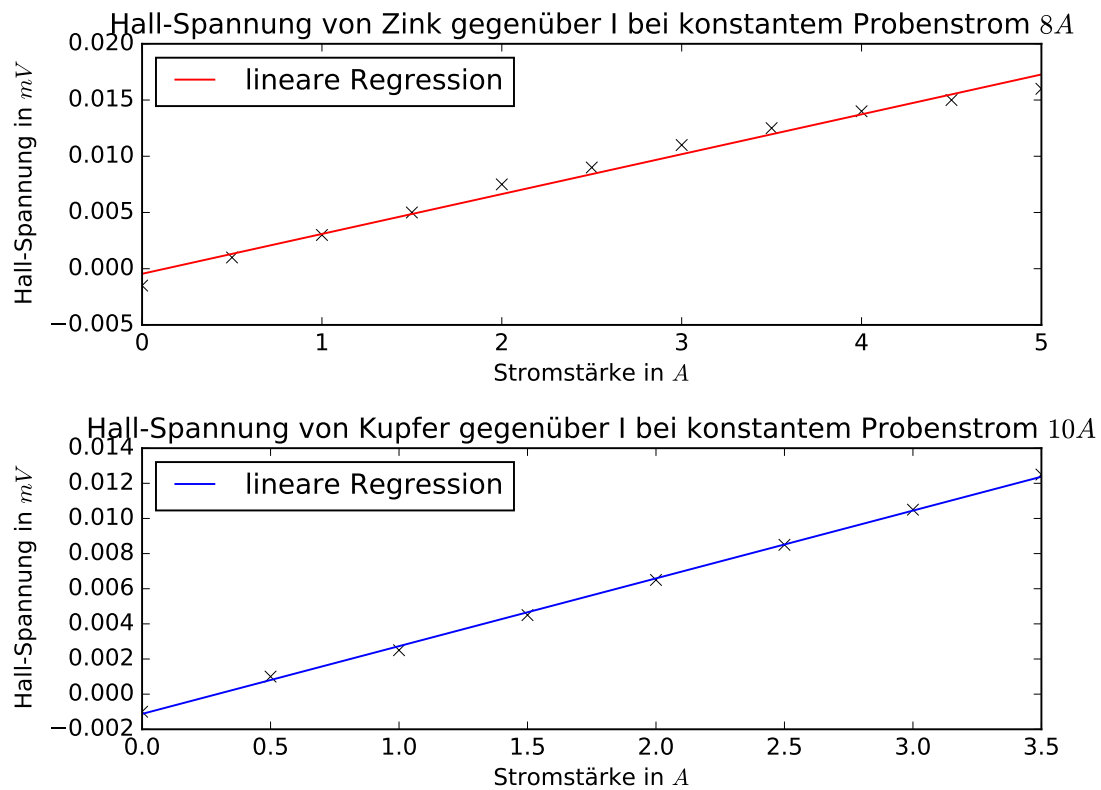


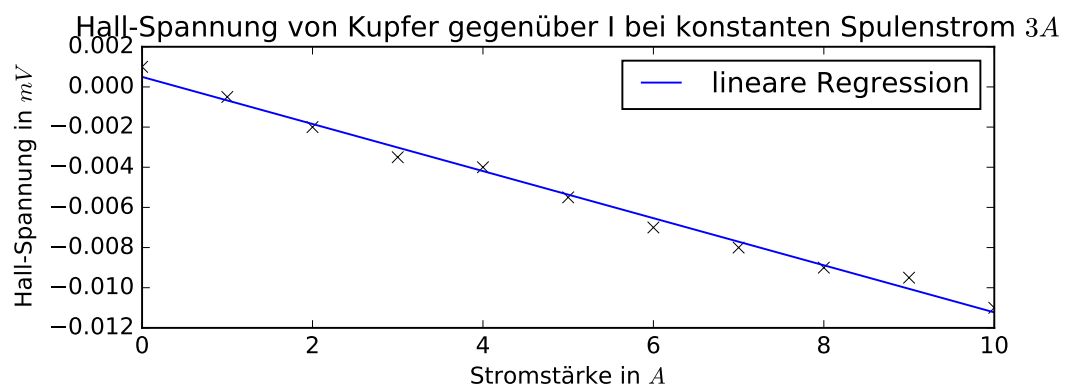
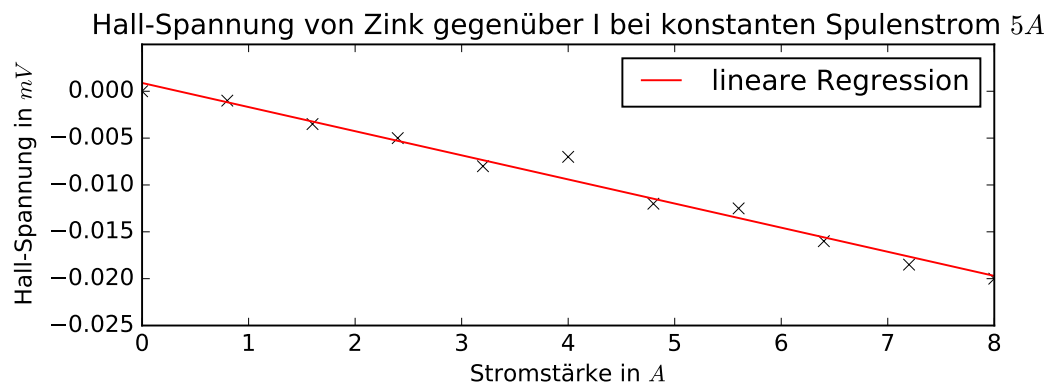
Abbildung 3: Diagramme der Widerstandsmessung

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 $R_K = (7,640 \pm 0,016) \text{ m}\Omega$.

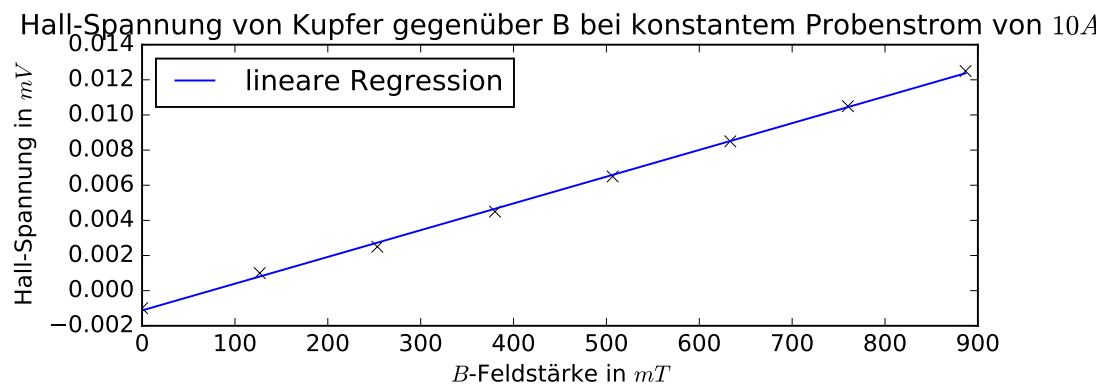
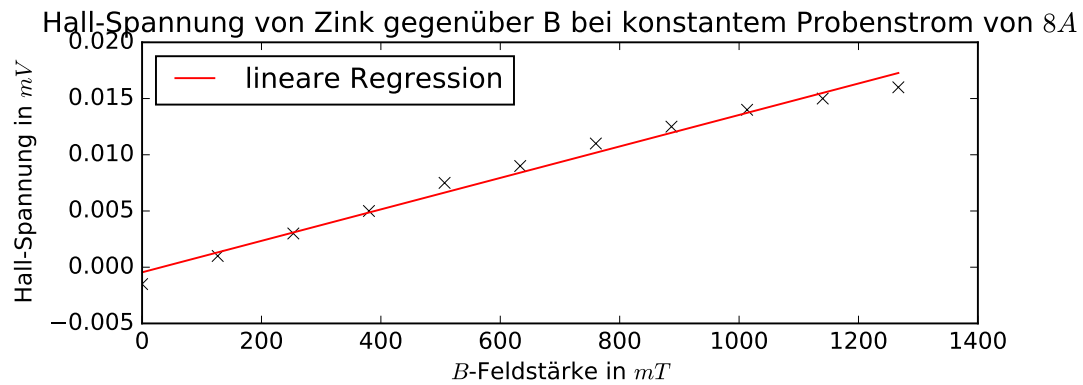
5.3 Bestimmen der Hall-Spannung U_H

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.



5.4 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 (9) nach n zu:

$$n = -\frac{B \cdot I_q}{e_0 U_H d}. \quad (14)$$

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

$$z = n \cdot V \quad (15)$$

,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 (2) 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.

$$v_d = -\frac{j}{n \cdot e_0} \quad (16)$$

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.

$$E_F = \frac{h^2}{2m_0} \sqrt[3]{\left(\frac{3}{8\pi}n\right)^2} \quad (17)$$

$$|\bar{v}| \approx \sqrt{\frac{2E_F}{m_0}} \quad (18)$$

$$\bar{l} \approx \bar{\tau} \sqrt{\frac{2E_F}{m_0}}. \quad (19)$$

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 (18) 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 (19) 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.

$$\mu = \frac{e_0}{2m_0} \bar{\tau} \quad (20)$$

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

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

6 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 und 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. Bei der Messung des Hystereseeffektes wird deutlich, dass dieser zu vernachlässigen ist.

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