

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	3
1.1	Magnetfelder von kurzen Spulen	3
1.2	Halleffekt	4
1.3	Kompensationsschaltung	6
1.4	Wheatstonesche Brückenschaltung	7
2	Aufbau/Durchführung	8
2.1	Vorbereitung	8
2.2	Bestimmung der Hallkonstante	9
2.3	Messung des Magnetfeldes einer Kurzen Spule	9
2.4	Messung des widerstands der Hallsonde	9
3	Fehlerrechnung	10
4	Auswertung	11
4.1	Eichung der Hallsonde	11
4.1.1	Positionierung der Sonde(3a)	11
4.1.2	Bestimmung der Hallkonstate(3b/c)	11
4.1.3	Bestimmung der Konzentration freier Elektronen(3d)	12
4.1.4	Linearität von Hallstrom und Hallspannung(3e)	13
4.2	Magnetfeld entlang der Symmetrieachse	14
4.3	Vermessung des Widerstandes der Hallsonde	15
4.3.1	Bestimmung des Innenwiderstandes	15
4.3.2	Bestimmung des delta x	15
5	Zusammenfassung	15
6	Anhang	16

Abbildungsverzeichnis

1	Technische Daten der Hallsonden	2
2	Graph der 3c unter Verwendung von Tabelle 3	11
3	Graph der 3c unter Verwendung von Tabelle 3 und der Kompentation	12
4	Graph der 3e unter Verwendung von Tabelle 4	13
5	Graph der 3e unter Verwendung von Tabelle 5	13
6	Graph der 4b unter Verwendung von Tabelle 6&7	14
7	Graph der 4b unter Verwendung von Tabelle und Kompensation6&7	14

Tabellenverzeichnis

1	Messpunkte der 3a	11
2	Berechnung der Hallkonstante nach Gleichung 10	12
3	Messwerte der Nr 3b; $I_H = 100\text{mA} \pm 2,5\text{mA}$	16
4	Messwerte der Nr 3e mit $I_S = 1\text{A} \pm 0,005\text{A}$	16
5	Messwerte der Nr 3e mit $I_S = 0\text{A}$	16
6	Messwerte der Nr 4a mit $I_S = 1\text{A}$	17
7	Fortsetzung Messwerte der Nr 4a mit $I_S = 1\text{A}$	17

Ziel des Versuchs

Das Ziel des Versuches ist es die Stärke des Magnetfeldes auf der Symmetrieachse einer endlichen Spule zu vermessen. Zur Vermessung wird eine Hallsonde verwendet welche nach dem Halleffekt eine messbare Spannung in Abhängigkeit des Magnetfeldes gibt. Um diese Spannung jedoch in die Magnetfeldstärke umzurechnen muss die verwendete Hallsonde zuerst geeicht werden bzw. ihre Charakteristische Eigenschaften, die Hallkonstante und ihr Innenwiderstand, bestimmt werden. Zudem wird eine Schaltung herbeigezogen um die verschwindend geringe Hallspannung präziser messen zu können.

Geräte

- Versuchsaufbau mit Spule und Hallsonde
- Versuchskästchen dazu
- Festspannungsquelle (12V) für Hallstrom
- regelbares Netzgerät für Spulenstrom
- Meßgerät für Spulenstrom
- Meßgerät für Kompensationsspannung

Hallsondentyp	SV 231	KSY 10,13,14
Material	InAs	GaAs
max. Hallstrom	200 mA	7 mA
Nenn-Hallstrom I_N	100 mA	5 mA
Leelaufhallspannung bei $B = 0,1\text{ T}$ und I_N	$\geq 70\text{ mV}$	85 ... 145 mV
Leerlaufempfindlichkeit	$\geq 7\text{ V/AT}$	170... 290 V/AT
Innenwiderstand	15... 45 Ω	900... 1200 Ω
Nullspannung U_0 bei $B = 0$ und I_N	um 10 mV, evtl. auch größer	unter 30 mV
Länge l der Sonde	8 mm	ca. 0,35 mm
Breite b der Sonde	4 mm	ca. 0,35 mm
Dicke d der Sonde	2 – 3 μm	ca. 0,3 μm

Abbildung 1: Technische Daten der Hallsonden

1 Theorie

1.1 Magnetfelder von kurzen Spulen

Jeder Strom durchflossene Draht erzeugt ein magnetfeld, welches sich nach dem Biot-Savartschen Gesetz berechnen lässt.

Für eine Kreisförmige Leiterschleife ergibt sich nun aus symmetriegründen, dass auf der Mittelechse lediglich eine Feldkomponente B_Z in Richtung der Symmetrieachse auftritt.

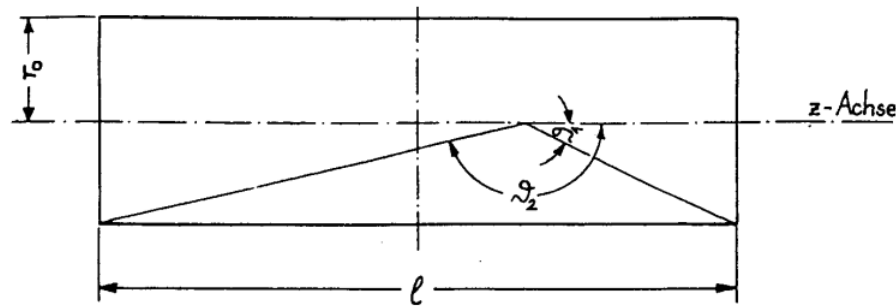
Betrachtet man eine Spule nun als Ansammlung vieler dieser Leiterschleifen so ergibt sich das Feld auf der Achse aus der Superposition der magnetfelder der einzelnen Leiterschleifen. Durch aufsummieren der Einzelfelder ergibt sich für das gesamtfeld:

$$B_Z = \frac{1}{2} \mu_0 I_S N (\cos \vartheta_1 - \cos \vartheta_2) \quad (1)$$

Für eine unendlich lange Spule ist anzunehmen das $\vartheta_1 = 0$ und $\vartheta_2 = \pi$ weshalb sich die formel für die unendlich lange Spule vereinfacht zu

$$B_Z = \mu_0 I_S N \quad (2)$$

Dabei ist N die Anzahl der Windungen pro Längeneinheit.



Zur Winkelberechnung werden folgende Formeln herangezogen, wobei z_r der Abstand zum Ende ist und z_l der Abstand zum Anfang ist:

$$z_r = \text{ende} - \text{pos} \quad (3)$$

$$z_l = \text{pos} - \text{anfang} \quad (4)$$

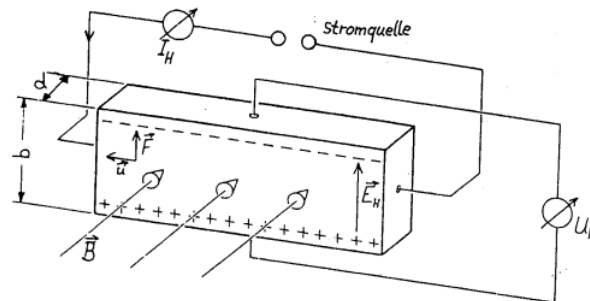
$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{r_0}{z_r} \right) \quad (5)$$

$$\theta_2 = \pi - \tan^{-1} \left(\frac{r_0}{z_l} \right) \quad (6)$$

Die Spule kann als unendlich betrachtet werden wenn ϑ_1 gegen 0 und ϑ_2 gegen π geht.

1.2 Halleffekt

Fließt ein Strom durch einen Leiter, der sich in einem transversalen Magnetfeld befindet, so lässt sich senkrecht zu Strom und Magnetfeld die so genannte Hallspannung messen.



Diese entsteht durch die Lorentzkraft, welche auf die Leitungselektronen wirkt und zu einer Konzentrierung der Elektronen auf einer Seite des Leiter führt. Mit der Lorentzkraft im Gegensatz zur elektrostatischen Abstoßung gilt für den Gleichgewichtsfall:

$$e\bar{u}B = eE_H \quad (7)$$

- e ist die Elementarladung
- \bar{u} ist die mittlere Geschwindigkeit der Elektronen
- B ist die Magnetfeldkomponente senkrecht zum Strom
- E_H ist die elektrische Feldstärke durch den Halleffekt

Die mittlere Geschwindigkeit der Leitungselektronen lässt sich aus dem Strom berechnen:

$$I_H = neq\bar{u} \quad (8)$$

- n ist die Anzahl der Leitungselektronen pro Volumeneinheit
- q ist der Querschnitt des Leiters

Dann ist also:

$$U_H = bE_H = \frac{I_H}{neq}Bb \quad (9)$$

oder

$$U_H = \frac{1}{ne}I_H B \frac{1}{d} \quad (10)$$

Dabei ist b die breite und d die Dicke des betrachteten Leiters (also $q = b \times d$).

Den Koeffizienten

$$R_H = \frac{1}{ne} \quad (11)$$

nennt man Hallkonstante.

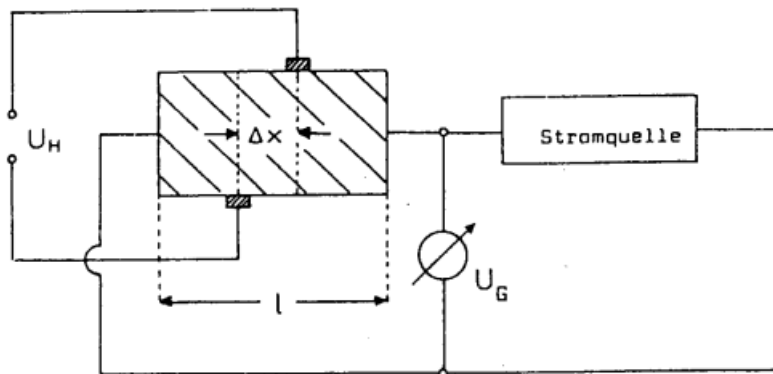
Je dünner die leitende Schicht umso deutlicher macht sich der Halleffekt bemerkbar. Dabei beträgt eine typische Schichtdicke bei Hallsonden 1 bis einige 10 μm .

Durch Messung der Hallspannung U_H lassen sich somit Magnetfelder ausmessen sofern die anderen Größen aus Gleichung 10 bekannt sind.

Dazu muss zuerst die Hallkonstante ermittelt werden, also wird die Hallsonde zuerst in einem bekannten Magnetfeld geeicht. Die Hallkonstante ist bei Metallen recht klein; bei Halbleitern und Legierungen wie Indium-Arsenid und Gallium-Arsenid jedoch besonders groß.

Material	Hallkonstante R_H in cm^3/As
Metalle	10^{-4}
Germanium	10^{+3}
Silizium	10^{+6}
Indium-Arsenid	14 – 30
Gallium-Arsenid	50 – 85

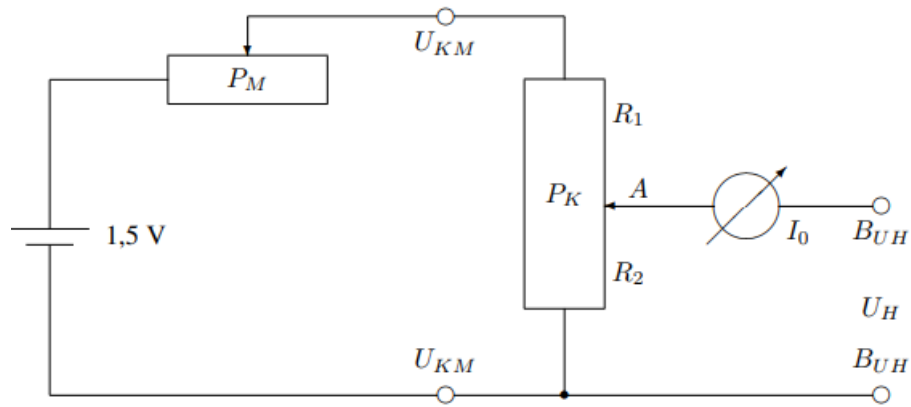
Reine Halbleiter wie Germanium und Silizium haben zwar eine sehr große Hallkonstante aber auch einen sehr großen spezifischen Widerstand, d.h. die Hallsonde hat dann einen sehr großen Innenwiderstand. Für den technischen Gebrauch eignen sich daher besser Halbleiterverbindungen (z.B. aus Gallium, Arsen und Silizium), die zwar eine kleinere Hallkonstante haben, dafür aber einen kleineren Widerstand. Wir verwenden eine Sonde aus Indium-Arsenid (Typ SV231). Da der Innenwiderstand einer Hallsonde je nach Typ groß sein kann bedarf es zur Messung der Hallspannung besonderer Vorkehrungen, d.h. wir messen die Hallspannung durch Kompensation. Im Normalfall misst man für $B = 0$ eine Hallspannung $U_0 \neq 0$ da die Hallspannungsabgriffe an der Sonde nicht exakt symmetrisch angebracht sind:



Für $B = 0$ gilt:

$$\frac{U_G}{l} = \frac{U_{H0}}{\Delta x} \quad (12)$$

1.3 Kompensationsschaltung



1,5V	Batterie(1,5V)
P_M	Potentiometer zur Einstellung der maximalen Kompensationsspannung
U_{KM}	Bananenbuchsen, an denen die Maximale Kompensationsspannung gemessen werden kann
P_K	Präzisionspotentiometer mit Skala
A	Abgriff am Potentiometer P_K , der das Potentiometer in die Widerstände R_1 und R_2 aufteilt
I_0	Nullpunktgalvanometer
B_{UH}	Anschlüsse für die Hallsondenspannung

Mit dem Potentiometer P_M wird die maximale Kompensationsspannung U_{KM} so eingestellt, dass diese in jedem Fall größer als die zu messende Hallspannung U_H ist. Nun wird das Potentiometer P_K so eingestellt, dass das Galvanometer I_0 keinen Strom anzeigt. Zur genaueren Regelung des des Potentiometers besitzt das Galvanometer noch einen Messverstärker mit dem auch noch sehr kleine ströme messbar sind. Ist kein Stromfluss zu messen so muss die Potentialdifferenz am Widerstand R_2 genau gleich der zu messenden Hallspannung U_H entsprechen. Aus dem Spannungsteilerverhältniss R_1 zu R_2 sowie U_{KM} kann nun die Hallspannung errechnet werden:

$$I_K = \frac{U}{R} = \frac{U_{KM}}{R_1 + R_2} \quad (13)$$

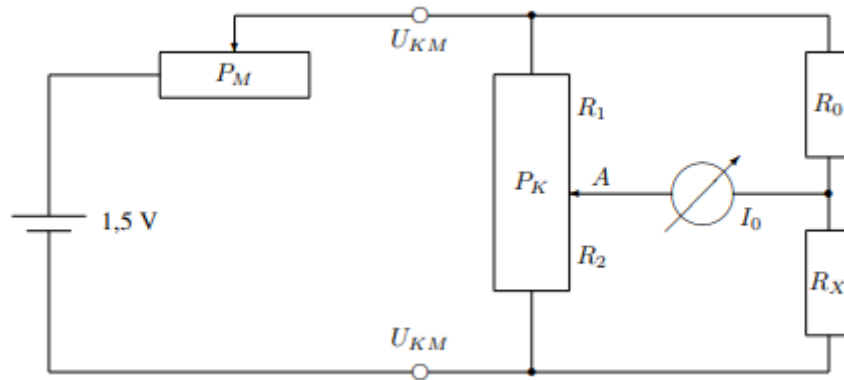
$$U_H = U_{R2} = I_K R_2 = \frac{U_{KM} R_2}{R_1 + R_2} \quad (14)$$

$$U_H = U_{KM} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (15)$$

$U_H = U_{R2}$ da $I_0 = 0$ ist und nach R_2 die Spannung 0 beträgt.

Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass in diesem Fall die reine Leerlaufspannung der Sonde gemessen wird, da U_H kein Strom entnommen wird.

1.4 Wheatstonesche Brückenschaltung



Mithilfe eines bekannten Widerstandes R_0 kann man die Kompensationsschaltung zu einer Brückenschaltung erweitern und dadurch den unbekannten Widerstand R_X ermitteln. Der Abgriff A teilt das Potentiometer in zwei Widerstände R_1 und R_2 auf. Regelt man das Potentiometer nun so ein, dass I_0 keinen Strom anzeigt, so gilt:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_0}{R_X} \quad (16)$$

Dies lässt sich beweisen durch die Tatsache, dass die Spannung vor und nach R_1 und R_0 gleich ist, wodurch der jeweilige Spannungsabfall der selbe ist:

$$I_{12} * R_1 = U_1 = U_0 = I_{0X} * R_0 \quad (17)$$

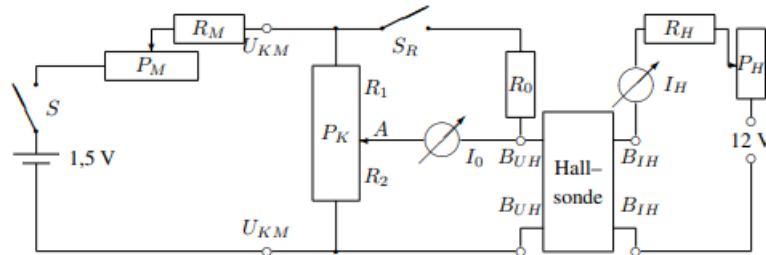
$$U_{KM} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = U_{KM} \frac{R_0}{R_0 + R_X} \quad (18)$$

$$\frac{R_1}{R_1} + \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_0}{R_0} + \frac{R_X}{R_0} \quad (19)$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_0}{R_X} \quad (20)$$

Anhand dieser Formel und den Werten der Skala des Potentiometers kann man nur den Widerstand R_X der Hallsonde ermitteln.

2 Aufbau/Durchführung



1,5V	Batterie (1,5V)
S	Schalter für Batterie
P_M	Potentiometer zur Einstellung der maximalen Kompensationsspannung
R_M	Widerstand (zur Strombegrenzung für P_M und Batterie)
U_{KM}	Bananenbuchsen, an denen die maximale Kompensationsspannung abgelesen werden kann
P_K	Präzisionspotentiometer mit Skala (100Ω, 10 Umdrehungen)
A	Abgriff am Potentiometer P_K , der das Potentiometer in die Widerstände R_1 und R_2 aufteilt
I_0	Nullpunktgalvanometer (mit Messverstärker)
B_{UH}	Anschlüsse für die Hallsondenspannung (in mehrpoliger Buchse)
R_0	Bekannter Widerstand
S_R	Schalter zur Vervollständigung der Wheatstoneschen Brückenschaltung durch zuschalten von R_0
12V	Buchsen für Spannungsquelle für den Hallstrom
P_H	Potentiometer zur Einstellung des Hallstroms
R_H	Vorwiderstand zur Begrenzung des Maximalen Hallstroms
I_H	Drehimpulsamperemeter zur Messung des Hallstroms
B_{IH}	Anschlüsse für den Hallstrom (in mehrpoliger Buchse)

2.1 Vorbereitung

Zu Anfang wird die Spule auf einen Konstante Strom von 1A eingestellt. Darauf hin wird an die Anschlüsse die mit 12V bezeichnet sind die 12V Spannungsquelle angeschlossen, dabei ist es wie auch bei der spule wichtig auf die richtige Polarität der Anschlüsse zu achten, da das Drehpulsamperemeter für den Hallstrom keine Negativen Ströme anzeigen kann. Darauf hin wird wird der Hallstrom mithilfe des Potentiometers P_H auf den maximal angegeben Hallstrom (in diesem Fall 100mA) eingestellt. Nach Platzierung der Sonde in der Mitte der Spule Stellt man mithilfe des Potentiometers P_M die Kompensationsspannung so ein, dass die Hallspannung noch kompensiert werden kann und eine leichte Umrechnung von Skalenteilen auf die Kompensationsspannung möglich ist. Dabei gibt die Skala von P_K das Verhältniss von R_2 zu $R_1 + R_2$ an. Noch zu beachten ist, dass die Stromquelle für die Kompensationsspannung (1,5V) aus einer Batterie stammt weswegen U_{KM} Parallel mitgemessen werden sollte um mögliche Fehler durch Spannungsänderungen zu vermeiden.

2.2 Bestimmung der Hallkonstante

Zur Bestimmung der Hallkonstante wird die Sonde in der Spule an den Punkt bewegt an dem die Hallspannung maximal ist da an diesem Punkt davon auszugehen ist, dass die Feldlinien des Magnetfeldes annähernd Parallel laufen weshalb man mit einer unendlich langen Spule rechnen kann (Dabei kann für N ein Wert von 1300 Windungen pro Meter angenommen werden). Konkret heißt das für die Winkel $\vartheta_1 = 0$ und $\vartheta_2 = \pi$. Für den Vergleich von Gleichung 1 zu 2 werden in der Mitte die Winkel basierend auf der Position, dem Anfang und dem Ende bestimmt. Nun wird der Spulenstrom (von 0 bis 1 A) in 0.1A Schritten variiert und jeweils die resultierende Hallspannung bestimmt. Daraus ergibt sich eine proportionale Abhängigkeit der Hallspannung vom Magnetfeld, aus der sich die Hallkonstante der Sonde ermitteln lässt. Diese lässt sich als Gerade darstellen. Dabei ist zu beachten, dass auch ohne Magnetfeld eine Hallspannung U_{H0} messbar ist, welche von der eigentlich gemessenen Hallspannung abgezogen werden muss. Aus der Hallkonstante der Sonde selbst lässt sich nun auch die Konzentration der freien Elektronen in der Sonde ermitteln (siehe (11)). Anschließend lässt sich auch noch eine Lineare Abhängigkeit der Hallspannung vom Hallstrom nachweisen, in dem der Hallstrom (0-100mA) in 10mA Schritten variiert wird und dazu einmal mit und einmal ohne Magnetfeld die resultierende Hallspannung aufgetragen wird.

2.3 Messung des Magnetfeldes einer Kurzen Spule

Zur Messung des Magnetfeld über die Kurze Spule werden zuerst die Werte aus der Vorbereitung eingestellt und daraufhin die Hallsonde Zentimeterweise auf der Symmetrieachse durch die Spule bewegt wobei für jeden Punkt die Hallspannung ermittelt wird.

2.4 Messung des Widerstands der Hallsonde

Zur Messung des Widerstands muss zuerst der Schalter S_R zur Zuschaltung von R_0 geschlossen und der Hallstrom ausgeschaltet werden wodurch die verbleibende Schaltung eine Wheatstonsche Brückenschaltung darstellt. Da der Widerstand sich aufgrund der Parallelschaltung nun verringert hat fällt nun ein geringerer Teil der Spannung über U_{KM} ab. Nach Nullen von I_0 über das Potentiometer P_K lässt sich nun mithilfe von Gleichung (16) der Innenwiderstand R_X der Hallsonde ermitteln. Anhand von Gleichung (12) lässt sich, nach Bestimmen von U_G aus I_H , R_0 und R_X , Δx bestimmen.

3 Fehlerrechnung

Alle Plots wurden mittels Python erstellt wobei die Fits von dem Modul `lmfit` erstellt wurden, mit einem Linearen Modell unter Verwendung der `least square method`. Zudem wurden alle Fehler mittels der Gaußschen Fehlerfortpflanzung bestimmt.

Um die Stärke des B-Feldes, unter Annahme einer ∞ -langen Spule, zu Berechnen wurde Gl. 2 benutzt. Ihr Fehler beträgt:

$$\Delta \mathbf{B} = \mu_0 N \Delta I_S \quad (21)$$

Der Fehler der gemessen Hallspannung berechnet sich wie folgt wobei sich P_K auf das abgelesene normierte Verhältnis von R_2 zu $R_1 + R_2$:

$$\Delta \mathbf{U}_H = \sqrt{(U_{KM} \Delta P_K)^2 + (P_K \Delta U_{KM})^2} \quad (22)$$

Die Hallkonstante welche durch Umformung der Gl. 10 bestimmt wird besitzt folgenden Fehler (die Geradensteigung des Plots 2 $U_H(\mathbf{B})$ wird mit m bezeichnet):

$$\Delta \mathbf{R}_H = \sqrt{\left(\frac{d}{I_H} \Delta m\right)^2 + \left(\frac{m}{I_H} \Delta d\right)^2 + \left(\frac{-m \cdot d}{I_H^2} \Delta I_H\right)^2} \quad (23)$$

Zur Berechnung des Fehlers der Konzentration freier Elektronen wurde die Annahme getroffen das der Fehler des Literaturwertes der Elementarladung 0 ist:

$$\Delta \mathbf{n} = \frac{1}{R_H^2 e} \Delta R_H \quad (24)$$

Für die Winkel θ_1 & θ_2 welche durch die Position der Sonde bestimmt werden ergeben sich die Fehlerformeln:

$$\Delta \mathbf{z} = \sqrt{(\Delta pos)^2 + (\Delta an f / ende)^2} \quad (25)$$

$$\Delta \theta = \sqrt{\left(\frac{z}{r^2 + z^2} \Delta r\right)^2 + \left(\frac{-r}{r^2 + z^2} \Delta z\right)^2} \quad (26)$$

Für das B-Feld, welches auf den Winkeln beruht, kommt folgender Fehler zustande:

$$\Delta \mathbf{B}_Z = \frac{\mu_0 N}{2} \sqrt{((\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \Delta I_S)^2 + I_S^2 ((-\sin \theta_1 \Delta \theta_1)^2 + (\sin \theta_2 \Delta \theta_2)^2)} \quad (27)$$

Wird das B-Feld aufgrund der Hallspannung berechnet ergibt sich dieser Fehler:

$$\Delta \mathbf{B}(\mathbf{U}_H) = \sqrt{\left(\frac{d}{I_H R_H} \Delta U_H\right)^2 + \left(\frac{U_H}{I_H R_H} \Delta d\right)^2 + \left(\frac{U_H d}{I_H^2 R_H} \Delta I_H\right)^2 + \left(\frac{U_H d}{I_H R_H^2} \Delta R_H\right)^2} \quad (28)$$

Der Fehler wird Dominiert durch die Ungenauigkeit der Sonde in der Dicke da diese mit $2 - 3 \mu\text{m}$ angegeben wurde. Dieser Fehler ist um eine Größenordnung größer als alle anderen Teilfehler. Für den Abstand Δx zwischen den Punkten an welchen die Hallspannung abgegriffen wird ergibt sich der Fehler

$$\Delta \Delta \mathbf{x} = \sqrt{\left(\frac{U_{H0}}{U_G} \Delta l\right)^2 + \left(\frac{l}{U_G} \Delta U_{H0}\right)^2 + \left(-\frac{U_{H0} l}{U_G^2} \Delta U_G\right)^2} \quad (29)$$

4 Auswertung

4.1 Eichung der Hallsonde

4.1.1 Positionierung der Sonde(3a)

Die folgende Tabelle zeigt alle Eckpunkte bzw relevante Eigenschaften auf, auf welchen alle weiteren Werte basieren.

Tabelle 1: Messpunkte der 3a

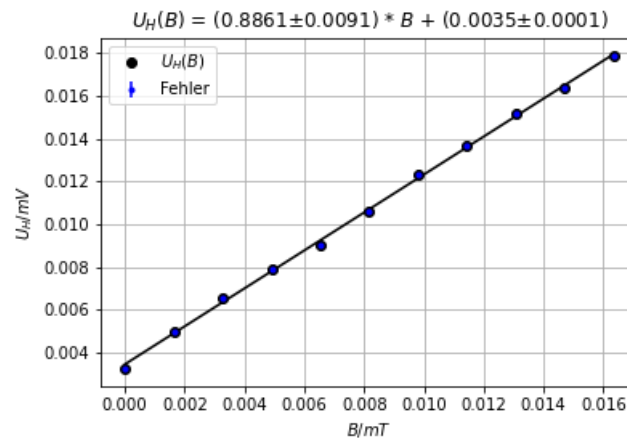
	Wert	Fehler
Anfang der Spule [m]	0,0435	$\pm 0,01$
Ende der Spule [m]	0,1522	$\pm 0,01$
Position des Größten Magnetfeldes [m]	0,1012	$\pm 0,01$
Radius der Spule r_0 [m]	0,0500	$\pm 0,0005$
Spulenstrom I_S [A]	0,99	$\pm 0,005$
θ_1 [rad]	0,7755	$\pm 0,0493$
θ_1 [rad]	2,4276	$\pm 0,0571$
B-Feld nach Gl. 1 [T]	0,0119	$\pm 0,0004$
B-Feld nach Gl. 2 [T]	0,0162	$\pm 0,0001$

Das Stärkste Magnetfeld ist wie erwartet in der Mitte der Spule. Wie zu erkennen ist stimmen die theoretischen B-Felder der Gleichungen 1 und 2 nicht überein. Gleichung 1 sagt ein B-Feld voraus welches nur 73,49% der Stärke des von Gleichung 2 vorausgesagten B-Feld besitzt bzw. das B-Feld von Gleichung 2 beträgt das 1,361 fache von dem B-Feld laut Gleichung 1.

4.1.2 Bestimmung der Hallkonstate(3b/c)

Die Geradensteigung U_H/B welche für die Hallkonstante benötigt wird ist ablesbar im folgenden Plot

Abbildung 2: Graph der 3c unter Verwendung von Tabelle 3



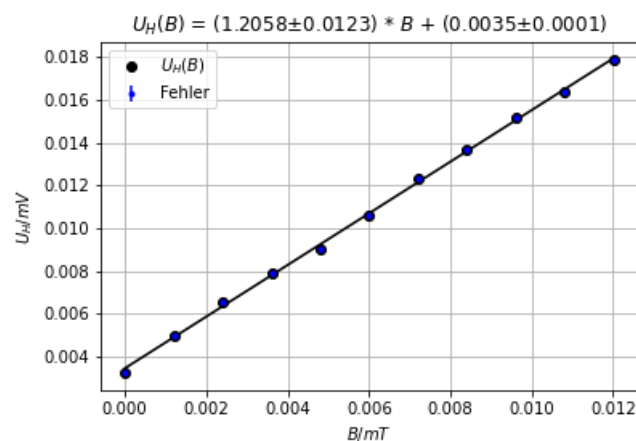
Die Werte welche zur Berechnung der Hallkonstante, als auch diese, sind in der Tabelle mit ihren Fehlern aufgetragen:

Tabelle 2: Berechnung der Hallkonstante nach Gleichung 10

Dicke d	$2.5 \mu\text{m} \pm 0.5 \mu\text{m}$
Steigung $U_H(B)$ in $\text{V/T}=\text{m}^2/\text{s}$	$0,8861 \pm 0,0091$
Hallstrom I_H	$0.100 \text{ mA} \pm 0.0025 \mu\text{m}$
Hallkonstante $\frac{1}{ne}$ in m^3/As	$0,0000221525 \pm 0,0000002275$
Hallkonstante $\frac{1}{ne}$ in cm^3/As	$22,1525 \pm 0,02275$

Nach Kompensation des zu Stark eingeschätzten B-Feldes ergibt sich eine Steigung von $1.2058[\text{V/T}]$ im Gegensatz zu $0.8861[\text{V/T}]$. Die neu berechnete Hallkonstante ist nun $30,14 \text{ cm}^3/\text{As}$. Die Kompensation geschieht indem das B-Feld welches nach Gleichung 2 bestimmt worden ist mit dem Faktor $0,7349$ multipliziert wird. Den angepassten Plot sieht man in Abbildung 3. Beide Werte liegen im Rahmen der Möglichen Hallkonstanten.

Abbildung 3: Graph der 3c unter Verwendung von Tabelle 3 und der Kompentation



4.1.3 Bestimmung der Konzentration freier Elektronen(3d)

Mit der unkompensierten Hallkonstante und dem Literaturwert der Elementarladung lässt sich durch der Gleichung 11 ein Wert für n von $2,81752 * 10^{23} \pm 2,89351 * 10^{21} \text{ 1/m}^3$ bestimmen. Unter Verwendung der kompensierten Hallkonstante entsteht folgender Wert für n $2,0705 * 10^{23} \pm 1,56258 * 10^{21} \text{ 1/m}^3$

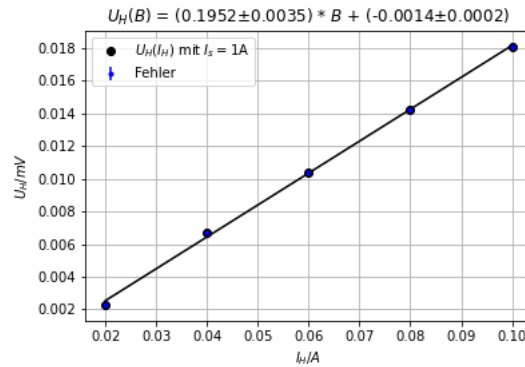
Der Literaturwert ¹ für Gallium-Arsenid, welches eine ähnliche Hallkonstante wie Indium-Arsenid beträgt $2,1 * 10^6 \text{ 1/cm}^3$ welches umgerechnet $2,1 * 10^{12} \text{ 1/m}^3$ ist. Wobei anzumerken das dies die einzig auffindbare Quelle neben Wikipedia ist für einen Literaturwert. Eine aussage über die Akkuratheit kann somit nicht getroffen werden

¹<https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Eigenleitungsdichte>

4.1.4 Linearität von Hallstrom und Hallspannung(3e)

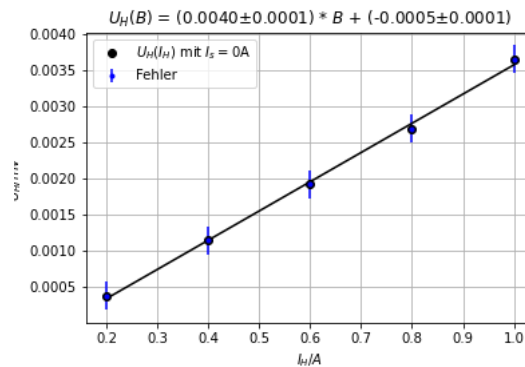
Mit der Messung bei welcher 1 Ampere durch die Spule fließt lässt sich an Hand des Plottes ein linearen Zusammenhang klar erkennen.

Abbildung 4: Graph der 3e unter Verwendung von Tabelle 4



Für die Messung bei der kein Strom fließt ist ebenfalls ein linearer Zusammenhang erkennbar jedoch nicht so ausgeprägt wie bei der vorherigen Messung. Dies ist ein Resultat der nun ausgeprägteren Fehler.

Abbildung 5: Graph der 3e unter Verwendung von Tabelle 5

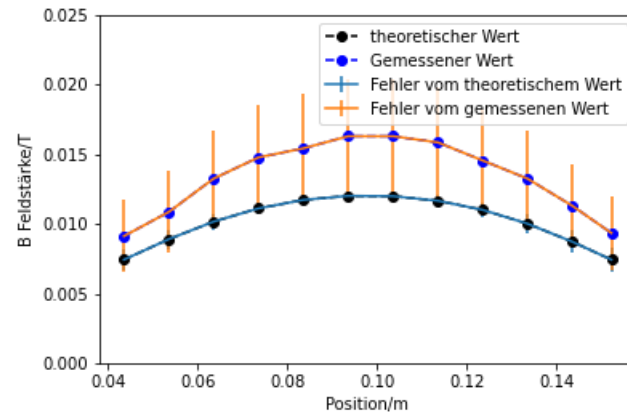


Ein linearen Zusammenhang lässt sich somit Experimentell nachweisen

4.2 Magnetfeld entlang der Symmetrieachse

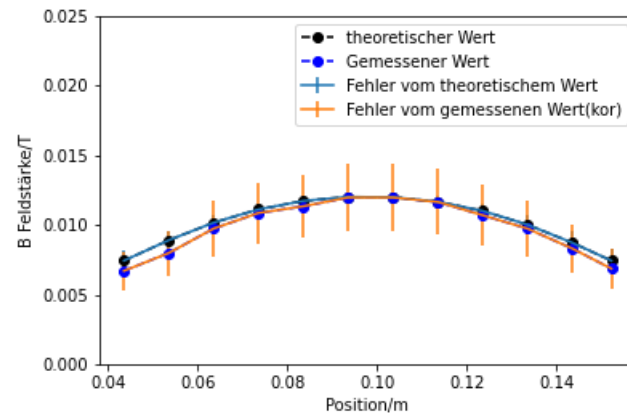
Wie in dem folgenden Plot, in welchen die Offsetspannung U_{HO} beachtet wird, zu sehen ist, weicht das theoretisch erwartete B-Feld (bestimmt durch 1) signifikant von dem gemessenen B-Feld (errechnet durch 10) ab. Die durchschnittliche Differenz beträgt 0.0031 Tesla, die durchschnittliche prozentuale Abweichung ist 31%

Abbildung 6: Graph der 4b unter Verwendung von Tabelle 6&7



Wird nun jedoch der kompensierte Wert der Hallkonstante zu Hand genommen ergibt sich folgender Plot:

Abbildung 7: Graph der 4b unter Verwendung von Tabelle und Kompensation 6&7



Die durchschnittliche Differenz beträgt nun 0.0003 Tesla, die durchschnittliche prozentuale Abweichung ist 04%. Durch den kompensierten Wert beträgt somit die Differenz nur noch 1/10 der vorherigen Differenz. Die geringe durchschnittliche prozentuale Abweichung bestätigt zusätzlich die Kompensation der Hallkonstante bzw. die Berechnung des B-Feldes in der 3c nach Gleichung 1.

4.3 Vermessung des Widerstandes der Hallsonde

4.3.1 Bestimmung des Innenwiderstandes

Durch Anpassen der Herleitung 20 entsteht folgende Gleichung $R_X = \frac{R_0}{1/K-1}$ wobei K für $\frac{R_2}{R_1+R_2}$ steht. Es ergibt sich unter Verwendung von $K=0,329\pm0,001$ und $R_0=49,9\pm0,49\ \Omega$ ein Wert von $24,5\pm0,26\ \Omega$ für den Innenwiderstand.

Der Fehler von R_0 wurde durch die Farbcodierung bestimmt welche einen Fehler von 1% angab.

4.3.2 Bestimmung des delta x

Für die Bestimmung des Δx wird Gleichung 12 umgestellt. l wurde fehlerfrei als 8 mm aus den Sondenangaben übernommen. U_{HO} wurde in der Versuchsreihe zur Bestimmung der Hallkonstante als $0,0032691\pm0,0001923\ \text{V}$ gemessen. U_G lässt sich einmal als Produkt aus I_H und R_X errechnen welches einen Wert von $2,44\pm0,026\ \text{V}$ liefert aber ebenfalls auch durch direktes messen mit einem Voltmeter welches $3,08\pm0,001\ \text{V}$ angibt. Für die Messung mit dem Voltmeter ergibt sich ein Δx von $8,49\mu\text{m}\pm0,01$ während sich durch das berechnete U_G ein Δx von $10,69\mu\text{m}\pm0,11$. Die Diskrepanz lässt sich zurückführen auf U_G wessen Diskrepanz wahrscheinlich aus dem Potentiometer stammt da dieses ggf. sich nicht vollständig 0 Ω stellen lässt.

5 Zusammenfassung

Das gemessene B-Feld entlang der Symmetrieachse der Spule stimmt, mit einer Abweichung von 4% , mit dem vorhergesagten B-Feld überein. Diese hohe Genauigkeit ist erreichbar da die Hallkonstante der Sonde bestimmt wurde durch Verwendung einer genauen Gleichung des B-Feldes, ihr Wert beträgt ca. $30\ \text{cm}^3/\text{C}$. Ebenfalls wurde von der Hallsonde der Abstand bestimmt zwischen den Spannungsproben für die Hallspannung, er beträgt $8,49\pm0,01\mu\text{m}$. Im weiteren wurde experimentell nachgewiesen ,dass die Hallspannung linear von dem Hallstrom abhängt. Eine Verbesserung aller experimentell bestimmten B-Felder wäre möglich indem die Hallkonstante akkurater ermittelt werden könnte bzw. das B-Feld welches zur Eichung benutzt wird genauer beschrieben werden könnte.

6 Anhang

Tabelle 3: Messwerte der Nr 3b; $I_H = 100\text{mA} \pm 2,5\text{mA}$

I_{Spule} in V	B in T (nach Gl.2)	U_{KM} in V	$R2/(R1+R2)$	U_H in V	\pm von U_H in V
0	0	0,1923 \pm 0,0001	0,017 \pm 0,001	0,0032691	0,0001923
0,100 \pm 0,005	0,00163 \pm 0,00008	0,1922 \pm 0,0001	0,026 \pm 0,001	0,0049972	0,0001922
0,200 \pm 0,005	0,00327 \pm 0,00008	0,1922 \pm 0,0001	0,034 \pm 0,001	0,0065348	0,0001922
0,300 \pm 0,005	0,00490 \pm 0,00008	0,1922 \pm 0,0001	0,041 \pm 0,001	0,0078802	0,0001922
0,400 \pm 0,005	0,00653 \pm 0,00008	0,1923 \pm 0,0001	0,047 \pm 0,001	0,0090381	0,0001924
0,500 \pm 0,005	0,00817 \pm 0,00008	0,1923 \pm 0,0001	0,055 \pm 0,001	0,0105765	0,0001924
0,600 \pm 0,005	0,00980 \pm 0,00008	0,1923 \pm 0,0001	0,064 \pm 0,001	0,0123072	0,0001924
0,700 \pm 0,005	0,01144 \pm 0,00008	0,1922 \pm 0,0001	0,071 \pm 0,001	0,0136462	0,0001923
0,800 \pm 0,005	0,01307 \pm 0,00008	0,1923 \pm 0,0001	0,079 \pm 0,001	0,0151917	0,0001925
0,900 \pm 0,005	0,01470 \pm 0,00008	0,1923 \pm 0,0001	0,085 \pm 0,001	0,0163455	0,0001925
1,000 \pm 0,005	0,01634 \pm 0,00008	0,1923 \pm 0,0001	0,093 \pm 0,001	0,0178839	0,0001925

Tabelle 4: Messwerte der Nr 3e mit $I_S = 1\text{A} \pm 0,005\text{A}$

I_H in V	U_{KM} in V	$R2/(R1+R2)$	U_H in V	\pm von U_H in V
0,100 \pm 0,001	0,1923 \pm 0,0001	0,094 \pm 0,001	0,0180762	0,0001923
0,080 \pm 0,001	0,1922 \pm 0,0001	0,074 \pm 0,001	0,0142228	0,0001922
0,060 \pm 0,001	0,1923 \pm 0,0001	0,054 \pm 0,001	0,0103842	0,0001922
0,040 \pm 0,001	0,1923 \pm 0,0001	0,035 \pm 0,001	0,0067305	0,0001922
0,020 \pm 0,001	0,1922 \pm 0,0001	0,012 \pm 0,001	0,0023064	0,0001924

Tabelle 5: Messwerte der Nr 3e mit $I_S = 0\text{A}$

I_H in V	U_{KM} in V	$R2/(R1+R2)$	U_H in V	\pm von U_H in V
0,100 \pm 0,001	0,1923 \pm 0,0001	0,019 \pm 0,001	0,0036537	0,0001923
0,080 \pm 0,001	0,1923 \pm 0,0001	0,014 \pm 0,001	0,0026922	0,0001923
0,060 \pm 0,001	0,1923 \pm 0,0001	0,010 \pm 0,001	0,001923	0,0001923
0,040 \pm 0,001	0,1923 \pm 0,0001	0,006 \pm 0,001	0,0011538	0,0001923
0,020 \pm 0,001	0,1923 \pm 0,0001	0,002 \pm 0,001	0,0003846	0,0001923

Tabelle 6: Messwerte der Nr 4a mit $I_S = 1A$

Pos $\pm 0,0001$ in m	θ_1 in rad	$\pm \theta_1$	θ_2 in rad	$\pm \theta_2$	B nach GL1 in T	$\pm B$ in T
0,0435	0,4311	0,0179	1,5708	0,0962	0,01484	0,00079
0,0535	0,4689	0,0208	1,7682	0,0863	0,01778	0,00070
0,0635	0,5133	0,0245	1,9513	0,0737	0,02030	0,00057
0,0735	0,5660	0,0291	2,1112	0,0612	0,02219	0,00045
0,0835	0,6291	0,0350	2,2455	0,0503	0,02341	0,00037
0,0935	0,7055	0,0423	2,3562	0,0413	0,02399	0,00033
0,1035	0,7986	0,0516	2,4469	0,0341	0,02395	0,00036
0,1135	0,9121	0,0627	2,5213	0,0285	0,02329	0,00043
0,1235	1,0497	0,0754	2,5830	0,0240	0,02199	0,00055
0,1335	1,2129	0,0878	2,6345	0,0204	0,02000	0,00068
0,1435	1,3985	0,0971	2,6779	0,0179	0,01741	0,00079
0,1522	1,5708	0,1000	2,7105	0,0432	0,01484	0,00083

Tabelle 7: Fortsetzung Messwerte der Nr 4a mit $I_S = 1A$

$U_{km} \pm 0,0001$ in V	$R1/(R1+R2)$ $\pm 0,001$	U_H in V	$\pm U_H$ in V	B(U) in T	$\pm B(U)$ in T
0,1922	0,059	0,0080707	0,0001923	0,00669	0,00136
0,1922	0,067	0,0096083	0,0001923	0,00797	0,00162
0,1922	0,078	0,0117225	0,0001924	0,00972	0,00197
0,1922	0,085	0,0130679	0,0001924	0,01084	0,00219
0,1922	0,088	0,0136445	0,0001924	0,01132	0,00229
0,1922	0,092	0,0144133	0,0001924	0,01195	0,00242
0,1922	0,092	0,0144133	0,0001924	0,01195	0,00242
0,1922	0,09	0,0140289	0,0001924	0,01163	0,00235
0,1922	0,084	0,0128757	0,0001924	0,01068	0,00216
0,1922	0,078	0,0117225	0,0001924	0,00972	0,00197
0,1922	0,069	0,0099927	0,0001923	0,00829	0,00168
0,1922	0,06	0,0082629	0,0001923	0,00685	0,00139