



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT  
GÖTTINGEN

PHYSIKALISCHES  
GRUNDPRAKTIKUM

---

VERSUCH 13

# MAGNETFELD VON SPULEN

---

*Praktikant:*

Tobias Wegener  
Alexander Osterkorn

*E-Mail:*

tobias.wegener@stud.uni-goettingen.de  
a.osterkorn@stud.uni-goettingen.de

*Tutor:*

Ralph Schäfer

*Gruppe:*

1

*Durchgeführt am:*  
9.9.2013

*Protokoll abgegeben:*  
20.9.2013

Testiert:

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>2</b>
2.1	Maxwell-Gleichungen der Magnetostatik . . . . .	2
2.2	Gesetz von Biot-Savart . . . . .	2
2.3	Spezielle Magnetfelder . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>4</b>
3.1	Messmethoden: Messung von Magnetfeldern . . . . .	4
3.2	Versuchsaufbau . . . . .	5
3.3	Durchführung der Messung . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>7</b>
4.1	Geometrie der verwendeten Spulen . . . . .	7
4.2	Eichung des Stromintegrators . . . . .	7
4.3	Feld der langen Spule . . . . .	8
4.4	Messungen mit der Hallsonde . . . . .	9
4.5	Homogenität der verschiedenen Magnetfelder . . . . .	11
4.6	Berechnung von $\mu_0$ . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>13</b>
5.1	Messungen mit der Induktionsspule . . . . .	13
5.2	Messungen mit der Hallsonde . . . . .	13
5.3	Vergleich der beiden Messverfahren . . . . .	13
	<b>Literatur</b>	<b>13</b>

# 1 Einleitung

In diesem Versuch sollen Magnetfelder verglichen werden, welche durch stromdurchflossene Spulen unterschiedlicher Art erzeugt werden. Ein besonderes Augenmerk soll auf die Homogenität des Feldes in der Mitte gelegt werden. Außerdem werden die Hallsonde und die Induktionsspule als mögliche Messgeräte zur Messung von Magnetfeldern eingeführt.

## 2 Theorie

### 2.1 Maxwell-Gleichungen der Magnetostatik

Sämtliche Formeln, die in der Magnetostatik benötigt werden, lassen sich aus den beiden folgenden Maxwell-Gleichungen herleiten:

$$\begin{aligned}\nabla \vec{B} &= 0 \\ \nabla \times \vec{H} &= \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}\end{aligned}$$

Dabei ist  $\vec{B}$  die *magnetische Flussdichte*,  $\vec{H}$  die *magnetische Erregung*,  $\vec{j}$  eine Stromdichte und  $\vec{D}$  die *dielektrische Verschiebungsdichte*. Sofern keine magnetisierbaren Materialien vorhanden sind, stehen die Größen  $\vec{B}$  und  $\vec{H}$  in folgendem Zusammenhang:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (1)$$

Die hier auftretende Proportionalitätskonstante  $\mu_0$  wird als *Permeabilitätskonstante* bezeichnet. [Demtröder, 2013, S. 26f, 85, 108, 136]

### 2.2 Gesetz von Biot-Savart

Es ist möglich, aus diesen Gleichungen eine Formel herzuleiten, mit der sich das Magnetfeld  $\vec{B}$  berechnen lässt, welches von einer beliebigen Stromverteilung  $\vec{j}$  erzeugt wird. Diese Formel wird *Biot-Savart-Gesetz* genannt. Für einen von einem konstanten Strom  $I$  durchflossenen Leiter beliebiger Form gilt folgedene Variante: [Demtröder, 2013, S. 88f]

$$\vec{B}(\vec{r}_1) = -\frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \int \frac{\hat{e}_{12} \times d\vec{s}}{r_{12}^2} \quad (2)$$

## 2.3 Spezielle Magnetfelder

### Zylinderspule

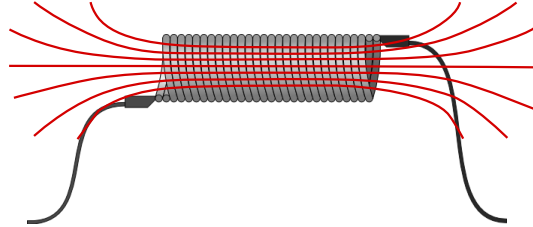


Abbildung 1: Magnetfeld einer langen Spule

Man kann mit Hilfe des *Ampère'schen Gesetzes* leicht eine Näherungsformel für den Betrag des Magnetfeldes im Inneren einer langen Zylinderspule ( $R \ll L$ ) angeben:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{n \cdot I}{L} \quad (3)$$

Dabei wird die Annahme gemacht, dass das Feld im Inneren der Spule homogen und außerhalb praktisch zu vernachlässigen ist. [Demtröder, 2013, S. 87f] Jedoch ist diese Formel für manche Zwecke zu ungenau. In diesem Fall kann mit dem *Biot-Savart-Gesetz* eine präzisere, jedoch auch weniger kompakte Formel hergeleitet werden. Dazu betrachtet man zunächst das Magnetfeld auf der Symmetrieachse einer kreisförmigen Leiterschleife. Um daraus das Magnetfeld einer Zylinderspule zu berechnen, integriert man dann über alle  $n$  Windungen und erhält schließlich folgende Gleichung:

$$B(z) = \frac{\mu_0 \cdot n \cdot I}{2} \cdot \left[ \frac{z + L/2}{\sqrt{R^2 + (z + L/2)^2}} - \frac{z - L/2}{\sqrt{R^2 + (z - L/2)^2}} \right] \quad (4)$$

Hier repräsentiert  $z$  die Symmetrieachse der Spule, wobei deren Mittelpunkt als Nullpunkt gewählt wird.  $n$  ist die Anzahl der Windungen,  $I$  die Stärke des Stroms,  $R$  der Radius der Spule und  $L$  deren Länge. [Demtröder, 2013, S. 93]

### Helmholtz-Spulenpaar

Ein *Helmholtz-Spulenpaar* ist eine Anordnung aus zwei baugleichen parallelen Ringspulen mit  $n$  Windungen im Abstand  $d = R$  (Radius der Spulen).

Diese werden jeweils von einem gleich großen und gleich orientierten Strom durchflossen. Das Magnetfeld auf der Symmetrieachse (hier z-Achse) kann in diesem Fall wieder mit dem *Biot-Savart-Gesetz* als eine Superposition der beiden einzelnen Felder berechnet werden. Dieser Ausdruck lässt sich sehr gut durch eine Taylor-Reihe entwickeln, da auf Grund der *Helmholtz-Bedingung*  $d = R$  der Term zweiter Ordnung verschwindet. Man erhält damit folgenden Ausdruck:

$$B(z) \approx \sqrt{\frac{4}{5}} \frac{\mu_0 n I}{R} \left[ 1 - \frac{144}{125} \left( \frac{z}{R} \right)^4 \right] \quad (5)$$

Da das Verhältnis von  $z$  und  $R$  mit der vierten Potenz in das Ergebnis eingeht, gilt für  $z \ll R$  in sehr guter Näherung:

$$B(z) \approx \sqrt{\frac{4}{5}} \frac{\mu_0 n I}{R} \quad (6)$$

[Demtröder, 2013, S. 92]

## 3 Durchführung

### 3.1 Messmethoden: Messung von Magnetfeldern

#### Hallsonde

Eine Hallsonde besteht aus einer leitenden Platte, welche von einem möglichst konstanten Strom durchflossen wird. Gibt es am Ort des Leiters ein Magnetfeld senkrecht zur Platte, so wirkt auf die bewegten Ladungen eine Lorentzkraft. Diese bewirkt eine Ladungstrennung innerhalb des Leiters senkrecht zur Bewegungsrichtung. Nach einer kurzen Zeit ist das so induzierte elektrische Feld so stark, dass es auf die bewegten Ladungen eine Kraft ausübt, die gerade die Lorentzkraft ausgleicht. Die auf diese Weise entstandene Potentialdifferenz  $U$  ist proportional zum Betrag des Magnetfeldes  $B$  (senkrecht zur Platte). [Demtröder, 2013, S. 99]

#### Induktionsspule

Die Funktionsweise einer *Induktionsspule* beruht darauf, dass in einer Spule ein Spannungsstoß auftritt, wenn sich der magnetische Fluss  $\Phi_m$  durch die

Spulenfläche ändert. Dieser Umstand ist im *Faraday'schen Induktionsgesetz* festgehalten:

$$U_{ind} = -n \cdot \frac{d\Phi_m}{dt} = -n \cdot \frac{d}{dt} \int \vec{B} \, d\vec{A} \quad (7)$$

Das Magnetfeld muss über das Volumen der Spule annähernd konstant sein, damit die folgende Rechnung korrekt ist. Wird das Magnetfeld während des Messvorgangs ausgeschaltet, so fällt der magnetische Fluss auf 0 und es gilt nach dem Hauptsatz der Differential- und Integralrechnung:

$$\Leftrightarrow B = -\frac{1}{nA} \int U_{ind} \, dt \quad (8)$$

Dabei gibt B nur den Betrag des Magnetfeldes senkrecht zur Querschnittsfläche an. Der Wert des Spannungsstoßes kann indirekt über ein Ladungsmessgerät bestimmt werden. [Demtröder, 2013, S. 125]

### 3.2 Versuchsaufbau

In diesem Versuch soll das Magnetfeld von unterschiedlichen Spulen vermessen werden. Bei diesen handelt es sich um zwei unterschiedliche Zylinder-spulen sowie ein Helmholtzspulenpaar. Die zentralen Elemente einer jeden Messreihe sind somit eine dieser Spulen und ein Meßgerät zur Messung des Magnetfeldes. Hier kann entweder die Induktionsspule oder die Hallsonde verwendet werden. Die zu vermessende Spule sowie das gewählte Messgerät lassen sich, wie in Abb. 2 dargestellt, beliebig auf einer Schiene positionieren. An dieser ist ein Längenmaß angebracht, sodass die Positionen bis auf einen Millimeter genau abgelesen werden können.

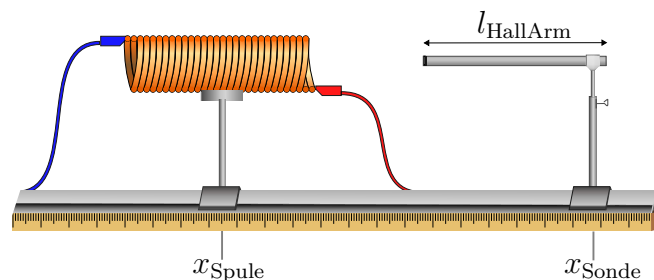


Abbildung 2: Versuchsaufbau

Die Spule wird über den in Abb. 3 dargestellten Primärkreis von einem konstanten Strom der Stärke  $I = 0,5 \text{ A}$  durchflossen. Soll das Magnetfeld

mit der Induktionsspule vermessen werden, so wird diese über einen Sekundärkreis (Abb. 3) eingebunden. In diesem wird die bei einem Spannungstoß geflossene Ladung von einem Stromintegrator registriert. Die Hallsonde kommt ohne weitere Schaltelemente aus, sie zeigt direkt den einen Wert für das Magnetfeld in der Einheit Gauss an.

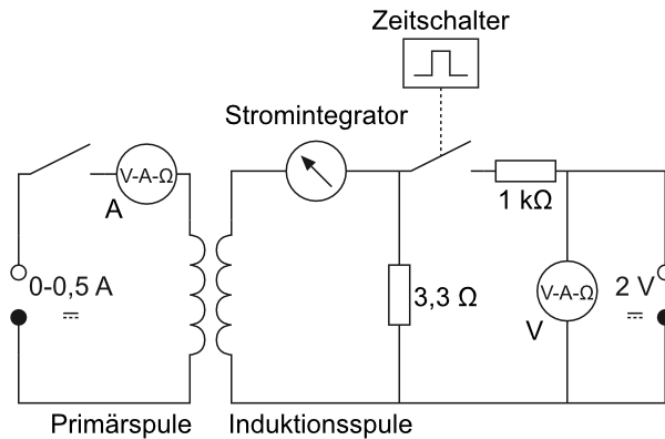


Abbildung 3: Schaltplan zur Eichung des Stromintegrators und zur Messung von Spulenmagnetfeldern mit der Induktionsspule ?

### 3.3 Durchführung der Messung

Zunächst muss das Ladungsmessgerät geeicht werden. Dazu erzeugt man über eine Spannungsquelle (2 V), welche mit einem Zeitschalter verbunden ist, Spannungstöße definierter Länge. Aus der Anordnung der Widerstände (Abb. 3) lässt sich später der Strom und über die eingestellte Zeit die geflossene Ladung berechnen. Diese Messung ist für mindestens 10 unterschiedliche Zeiten zu wiederholen.

Danach kann mit der Vermessung der Magnetfelder der verschiedenen Spulen begonnen werden. Zunächst wird die längere der beiden Zylinder­spulen mit der Induktionsspule vermessen. Da das Magnetfeld von symmetrischen Spulen ebenfalls symmetrisch ist, reicht es, nur eine Hälfte zu vermessen. Es ist darauf zu achten, dass die Induktionsspule in der Höhe so justiert wird, dass sie sich auf der Symmetrieachse befindet. Mit der Messung kann dann zum Beispiel in der Mitte der Spule begonnen werden. Nach jeder Messung wird die Induktionsspule um 2 cm verschoben. Die Messreihe wird beendet, wenn sich das gemessene Magnetfeld nur noch wenig ändert (weit außerhalb der Spule).

Danach wird diese Messreihe mit der Hallsonde für alle drei Spulen durchgeführt. Hier soll die Schrittweite auf 1 cm reduziert werden. Hierbei ist zu beachten, dass die Hallsonde schon bei ausgeschaltetem Spulenmagnetfeld ein Magnetfeld misst. Dieser Offset-Wert ist zu notieren.

Schließlich müssen noch alle benötigten Daten der Spulen (Wicklungszahl, Länge, Durchmesser) und der Messgeräte (Länge des Arms) aufgeschrieben werden.



## 4 Auswertung

### 4.1 Geometrie der verwendeten Spulen

In der folgenden Tabelle sind einige geometrische Eigenschaften der verwendeten Spulen zusammengefasst:

	Windungen $n$	Radius $r$ [cm]	Länge $l$ [cm]
Helmholtzspule	507	6,3	
Dicke Spule	501	10	27
Lange Spule	832	6,275	45
Induktionsspule	368	2,95	6

Tabelle 1: Übersicht über die verschiedenen Spulengrößen

### 4.2 Eichung des Stromintegrators

Die Abb. 3 zeigt den zur Eichung verwendeten Stromkreis. Zur Vereinfachung der Rechnung führen wir die Bezeichnungen  $R_1 = 3.3 \Omega$ ,  $R_2 = 1000 \Omega$  und  $R_i$  für den Innenwiderstand des Stromintegrators ein. Dieser Wert wird auf dem Gerät zu  $R_i = 10\,000 \Omega$  angegeben.

Sei  $U = 2\text{ V}$  die Pulsspannung und  $I$  der Gesamtstrom. Dann gilt

$$I = \frac{U}{R_2 + \frac{R_i R_1}{R_i + R_1}},$$

für die Spannung  $U_i$  am Integrator

$$U_i = I \frac{R_i R_1}{R_i + R_1}$$

und schließlich für den Strom durch den Integrator

$$I_i = \frac{U_i}{R_i} = \frac{U R_1}{(R_1 + R_i) \left( R_2 + \frac{R_i R_1}{R_i + R_1} \right)} = 6.58 \cdot 10^{-7} \text{ A} .$$

Alle hier verwendeten Daten sind Herstellerangaben und werden im Folgenden als mit vernachlässigbarem Fehler behaftet betrachtet.

Die Eichkonstante  $\kappa$  gibt den Zusammenhang zwischen geflossener Ladung  $Q$  (in C) und Anzeige  $x$  (in Skt.) an:

$$x = \kappa \cdot Q$$

Da jede Messung mit dem Stromintegrator nur einfach durchgeführt wurde und es keine Angabe zu technischen Ungenauigkeiten gab, wird auch für die Anzeige des Stromintegrators kein Fehler berücksichtigt. Als gewichtetes Mittel erhält man  $\kappa = 2.34 \cdot 10^9 \text{ Skt/C}$ .

$t$ [ms]	$Q$ [ $10^{-8}$ C]	$x$ [Skt]	$\kappa$ [ $10^9$ Skt/C]
50	3.29	75	2.28
100	6.58	155	2.36
150	9.87	232	2.35
200	13.16	310	2.36
250	16.45	384	2.33
300	19.74	461	2.34
350	23.03	540	2.34
400	26.32	614	2.33
450	29.61	693	2.34
500	32.90	768	2.33

Tabelle 2: Berechnung der Eichkonstanten  $\kappa$  für verschiedene Pulsbreiten  $t$

### 4.3 Feld der langen Spule

Nun soll das Magnetfeld der langen Spule mit der Induktionsspule untersucht werden. Nach Formel 8 gilt (wir interessieren uns nicht für das Vorzeichen)

$$B = \frac{1}{nA} \int U_{\text{ind}} dt .$$

Andererseits gilt im Sekundärkreis auch

$$\int U_{\text{ind}} dt = R_i \int I_{\text{ind}} dt = R_i Q_{\text{mess}} ,$$

wobei  $Q_{\text{mess}}$  die mit dem Stromintegrator angezeigte Ladung und  $R_i$  wieder dessen Innenwiderstand ist. Die Abb. 4 vergleicht die Messungen des Magnetfelds der langen Spule durch die Induktionsspule mit der Messung durch die Hall-Sonde.

Es fällt auf, dass die Abweichung sehr gering ist, die maximale Abweichung liegt bei etwa 15%, bei den meisten Datenpunkten aber im Bereich von 1 %. Auch für die Messung mit der Hall-Sonde kann keine wirklich begründete Fehlerabschätzung vorgenommen werden. Auf dem Gerät gab es keine Fehlerangabe und Mehrfachmessungen wurden nicht vorgenommen.

Da die Abweichungen der beiden Kurven sehr gering sind, kann nicht gesagt werden, welches Messverfahren zuverlässiger erscheint.

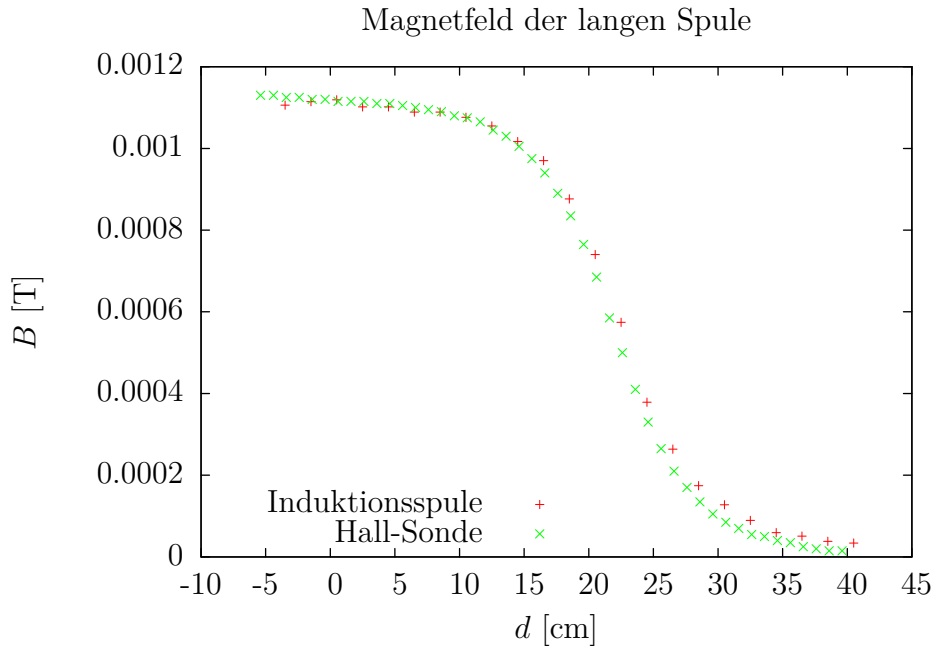


Abbildung 4: Magnetfeldstärke  $B$  der langen Spule aufgetragen gegen den Abstand  $d$  vom Spulenmittelpunkt auf der Mittelachse

#### 4.4 Messungen mit der Hallsonde

In diesem Teil soll das mit einer Hallsonde gemessene Magnetfeld auf der Symmetrieachse von unterschiedlichen stromdurchflossenen Spulen betrachtet werden. Dazu wird der Nullpunkt der Symmetrieachse ( $x$ -Achse) in den Mittelpunkt der Spule gelegt. Um aus den Positionen der Spulenhaltung und der Hallsondenhalterung (vgl. Abb. 2) den  $x$ -Abstand der Sonde zur Spulenmitte auszurechnen, wird folgende Formel verwendet:

$$x = x_{\text{Sonde}} - x_{\text{Spule}} - l_{\text{HallArm}}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_{x_{\text{Sonde}}}^2 + \sigma_{x_{\text{Spule}}} + \sigma_{l_{\text{HallArm}}}}$$

Für die Positionen der Sonden- und Spulenhaltung wird ein Fehler von 1 mm angenommen, da dies der kleinste Skalenteil auf dem Schienenmaß war. Für die Länge des Arms der Hallsonde wird ein Fehler von 1 cm angenommen, da hier mit einem Lineal gemessen wurde und es nicht möglich war, die Position des Sensors und des Mittelpunktes der Halterung genau abzulesen.

Das von der Hallsonde gemessene Magnetfeld wird in der Einheit G (Gauß) angezeigt. Es lässt sich nach der Formel

$$1 \text{ T} = \frac{1 \text{ G}}{10000}$$

in Tesla umrechnen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Hallsonde auch schon dann ein Magnetfeld gemessen hat, wenn das Magnetfeld der Spule noch ausgeschaltet war. Dieser Offset-Wert muss vor der Umrechnung noch abgezogen werden. Natürlich gibt es einen bauartbedingten Messfehler bei der Bestimmung des Magnetfeldes, jedoch gibt es keine genauen Anhaltspunkte, in welcher Größenordnung dieser ist. Daher wird er relativ großzügig zu 10% des Messwertes nach oben abgeschätzt.

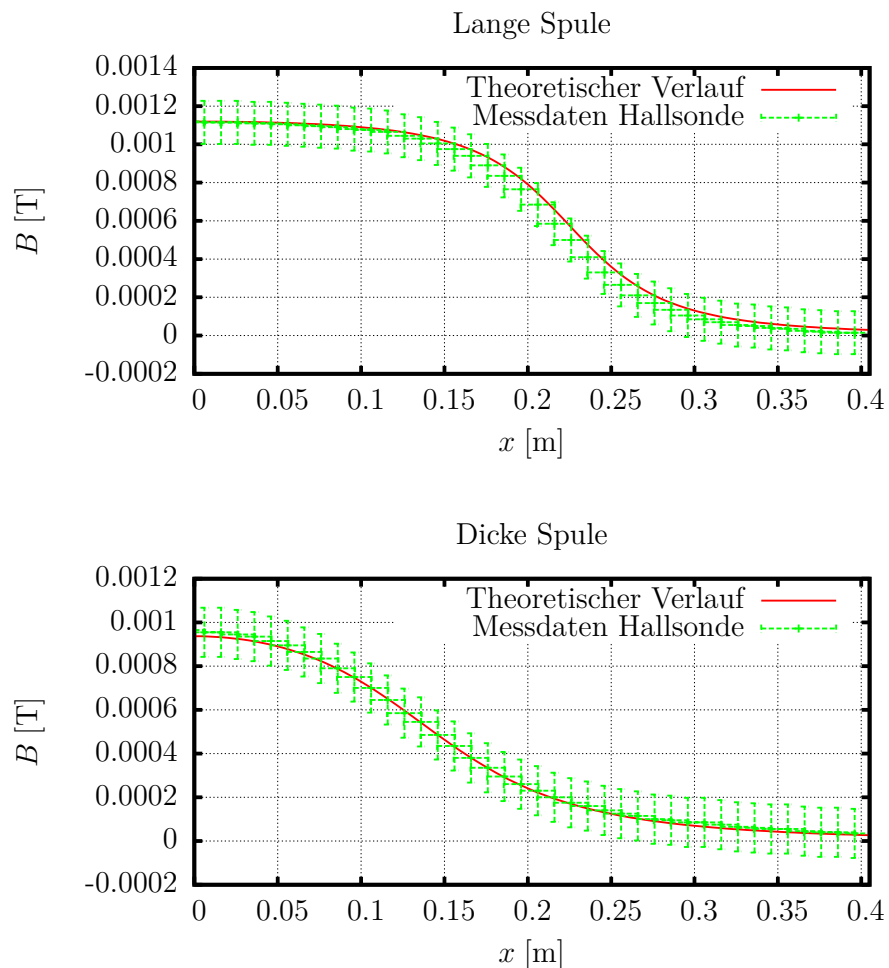


Abbildung 5: Vergleich der theoretischen B-Felder von zwei unterschiedlichen Spulen mit den gemessenen Verläufen

Nachdem die gemessenen Werte nach diesen Formeln umgerechnet wurden, können sie geplottet werden. Die Plots sind in Abb. 5 dargestellt. Zum Vergleich wurden auch die Graphen der Funktion 4 geplottet, wobei die entsprechenden Spuleneigenschaften eingesetzt wurden. Es ist zu erkennen, dass die theoretischen Kurven in den Fehlerbereichen der Messdaten liegen und damit eine gute Näherung darstellen. Der Vergleich dieser B-Felder mit den theoretisch berechneten H-Feldern wird in Abschnitt 4.6 erfolgen.

#### 4.5 Homogenität der verschiedenen Magnetfelder

In Abb. 6 sind die B-Felder der verschiedenen Spulen dargestellt. Es fällt auf, dass das Magnetfeld des Helmholtzspulenpaares zwar am Rand recht steil abfällt, aber in einem kleinen Intervall  $[-0,3;0,3]$  sehr homogen ist. Die Magnetfelder der Zylinderspulen fallen zwar erst für deutlich größere Abstände vom Mittelpunkt stark ab, sind aber in der direkten Umgebung des Mittelpunktes weniger homogen als das des Helmholtzspulenpaares. Insbesondere bei dem Magnetfeld der dicken Spule gibt es kein Intervall, das wirklich homogen ist. Der nach Gl. 5 errechnete Wert für das vom Helmholtz-Spulenpaar im Mittelpunkt erzeugte Magnetfeld liegt zwar in der richtigen Größenordnung, weist aber eine Abweichung von ca. 5% auf.

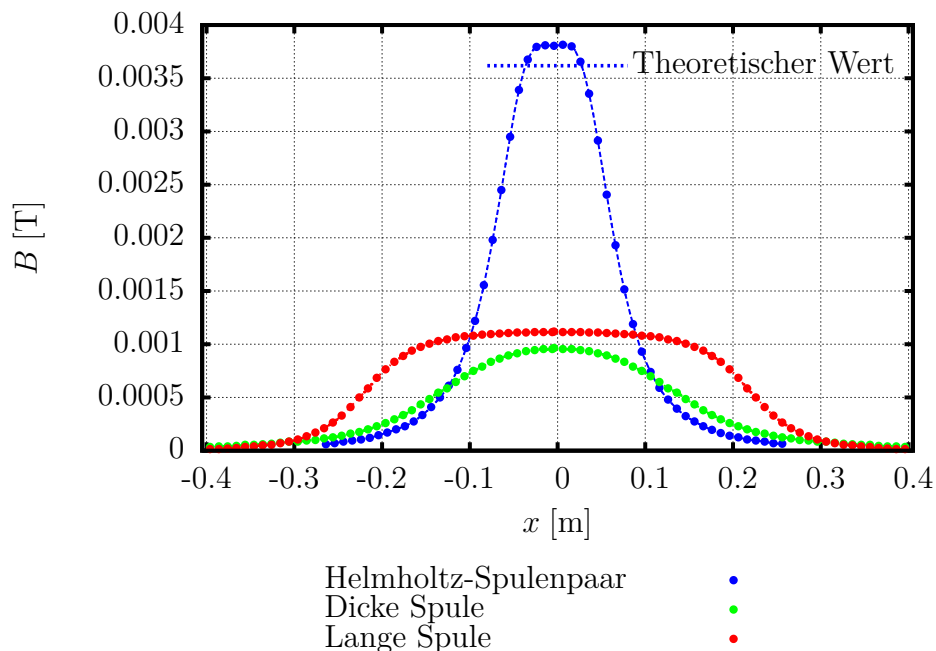


Abbildung 6: Homogenität unterschiedlicher Magnetfelder

## 4.6 Berechnung von $\mu_0$

Aus den verschiedenen Messungen des B-Feldes und den in der Theorie hergeleiteten Formel für die H-Felder (vgl. Gl. 4 und 5) lassen sich nach Gl. 1 daraus Werte für  $\mu_0$  berechnen, indem man den Wert für das B-Feld durch den des H-Feldes dividiert. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die theoretischen Formeln Taylorentwicklungen sind und daher für größere Abstände ungenauer werden. Daher wurde diese Rechnung auf ein (immer noch recht großes) Intervall um den Mittelpunkt der Spule beschränkt. Die Ergebnisse dieser Rechnung für die Spulen sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Formel zur Berechnung des H-Feldes eines Helmholtz-Spulenpaares (Gl. 5) scheint ziemlich ungenau zu sein, da für die Werte in der Nähe des Mittelpunktes das errechnete  $\mu_0$  sehr stark von den anderen Werten für  $\mu_0$  abweicht und einen großen Fehler aufweist. Außerdem liefert die Formel für etwas größere Abstände zum Mittelpunkt schon negative Werte für den Betrag des H-Feldes, an dieser Stelle versagt dann die Taylornäherung.

	$\mu_0$ [ $10^{-6}$ V s A $^{-1}$ m $^{-1}$ ]
Lange Spule + Induktionsspule	(1,26 ± 0,06)
Lange Spule + Hallsonde	(1,25 ± 0,01)
Dicke Spule + Hallsonde	(1,276 ± 0,018)
Helmholtz-Spulenppar	(1,63 ± 0,6)
Gewichteter Mittelwert	(1,256 ± 0,009)
Literaturwert	1,2566371

Tabelle 3: Übersicht über die berechneten Werte für  $\mu_0$

## 5 Diskussion

### 5.1 Messungen mit der Induktionsspule

Die für die einzelnen Pulsbreiten berechneten Werte für die Eichkonstante  $\kappa$  weichen voneinander um höchstens 3.5 % ab. Alle Werte liegen sehr dicht am berechneten Mittelwert. Eine Fehlerrechnung wurde an dieser Stelle unterlassen, da es für keinen der verwendeten Werte einen Anhaltspunkt über die Größe des Fehlers gab. Da die Messung der Eichkonstanten mehrmals durchgeführt wurde, kann man aber trotzdem davon ausgehen, dass der bestimmte Mittelwert sehr nah an der Realität liegt.

Die Messung des Magnetfeldes mit der langen Spule wurde bereits im Auswertungsteil kommentiert.

### 5.2 Messungen mit der Hallsonde

Zunächst wurden die Feldverläufe der beiden Zylinderspulen mit der Hallsonde vermessen. Die gemessenen Werte passen, wie in Abb. 5 zu sehen, sehr gut zu den theoretisch berechneten. Auch das Feld des Helmholtzspulenpaares entspricht qualitativ den theoretischen Erwartungen. Es weist in einem bestimmten Intervall um den Mittelpunkt eine extreme Homogenität auf, fällt dann aber schnell ab. Jedoch lieferten die mit Formel 5 berechneten Werte keine gute Übereinstimmung mit den Messwerten.

### 5.3 Vergleich der beiden Messverfahren

Welches dieser beiden Messverfahren letztendlich genauer ist, kann aus diesen Messungen nicht beurteilt werden. Sicherlich hat die Induktionsspule den Vorteil, dass sie wirklich nur das Magnetfeld der Spule misst (wenn dieses an- oder ausgeschaltet wird), während die Hallsonde auch externe Magnetfelder mitmisst. Andererseits ist die Induktionsspule viel größer als das Metallplättchen der Hallsonde, sodass die Hallsonde viel präziser einen ganz bestimmten Punkt vermessen kann.

## Literatur

Wolfgang Demtröder. *Experimentalphysik 2*. Springer Spektrum, 6 edition, 2013.

## Messwerte

$t$ [ms]	Anzeige [Skt]
50	75
100	155
150	232
200	310
250	384
300	461
350	540
400	614
450	693
500	768

Tabelle 4: Eichung Stromintegrator



$x_{\text{IndSpule}}$	Pos Ind.Spule relativ	Integratoranzeige
35	-3.5	260
37	-1.5	262
39	0.5	263
41	2.5	259
43	4.5	259
45	6.5	256
47	8.5	256
49	10.5	253
51	12.5	248
53	14.5	239
55	16.5	228
57	18.5	206
59	20.5	174
61	22.5	135
63	24.5	89
65	26.5	62
67	28.5	41
69	30.5	30
71	32.5	21
73	34.5	14
75	36.5	12
77	38.5	9
79	40.5	8

Tabelle 5: Lange Spule + Induktionsspule

Pos. Hall Fuß	korr. Pos.	Lange Spule	Dicke Spule	Helmholtz
Offset		-5,55	-5.65	-5.6.5
9	-5.05			
10	-4.95			
11	-4.8			
12	-4.7			
13	-4.6			
14	-4.45			
15	-4.2			
16	-3.95			
17	-3.65			
18	-3.35			
19	-2.9			
20	-2.3			
21	-1.55			
22	-0.65			
23	0.45			
24	1.95			
25	4			
26	6.55			
27	9.9			
28	14.15			
29	18.85			
30	-5,4	5.75	3.45	23.85
31	-4,4	5.75	3.65	28.25

32	-3,4	5.7	3.75	31.1
33	-2,4	5.7	3.85	32.3
34	-1,4	5.65	3.9	32.45
35	-0,4	5.65	4	32.4
36	0,6	5.6	3.9	32.5
37	1,6	5.6	3.9	32.35
38	2,6	5.6	3.8	30.9
39	3,6	5.55	3.7	27.9
40	4,6	5.55	3.5	23.5
41	5,6	5.5	3.3	18.4
42	6,6	5.45	3	13.65
43	7,6	5.4	2.7	9.5
44	8,6	5.35	2.25	6.25
45	9,6	5.25	1.85	3.65
46	10,6	5.2	1.35	1.75
47	11,6	5.1	0.8	0.25
48	12,6	4.9	0.2	-0.85
49	13,6	4.75	-0.2	-1.7
50	14,6	4.5	-0.8	-2.4
51	15,6	4.2	-1.3	-2.9
52	16,6	3.85	-1.85	-3.35
53	17,6	3.35	-2.3	-3.7
54	18,6	2.8	-2.7	-4
55	19,6	2.1	-3.05	-4.25
56	20,6	1.3	-3.35	-4.4

57	21,6	0.3	-3.65	-4.6
58	22,6	-0.55	-3.9	-4.7
59	23,6	-1.45	-4.05	-4.8
60	24,6	-2.25	-4.25	-4.95
61	25,6	-2.9	-4.4	-5
62	26,6	-3.45	-4.5	
63	27,6	-3.85	-4.65	
64	28,6	-4.2	-4.7	
65	29,6	-4.5	-4.8	
66	30,6	-4.7	-4.8	
67	31,6	-4.85	-4.9	
68	32,6	-5	-5	
69	33,6	-5.05	-5.05	
70	34,6	-5.15	-5.1	
71	35,6	-5.2	-5.1	
72	36,6	-5.3	-5.2	
73	37,6	-5.35	-5.25	
74	38,6	-5.4	-5.25	
75	39,6	-5.4	-5.3	

Tabelle 6: Hallsonde