

Aufbau eines Magnetfeldes

Laborbericht - Elektrotechnik 2

Fragestellung: Wie kann ein Magnetfeld mit einer Stärke von $H = 0.25 \text{ mT}$ innerhalb eines Raums von mindestens $V = 500 \text{ cm}^3$ mit einer Spule erzeugt werden?

1 Einführung

Dieser Messbericht und den dahinterliegenden Messversuch befasst sich mit dem Aufbau eines Magnetfeldes mit einer selbst gewickelten Kupferspule. Der Fokus liegt dabei bei der Stärke des Magnetfeldes, welches dem Wert von $B_L = 0.25 \text{ mT}$ entsprechen sollte.

2 Erwartungen

Durch die Aufgabenstellung wurde die Magnetstärke $B_0 = 0.25 \text{ mT}$ bereits festgelegt und die Stromstärke wird durch den maximalen Strom, welche das Powersupply des *Virtual Benches* ausgeben kann, begrenzt ($I_{PS} = 1 \text{ A} \Rightarrow I_{MAX} = 0.9 \text{ A}$).

Die Dimension des Kunststoffrohrs, welches für das Aufwickeln des Kupferdrahts verwendet wurde, betragen die Dimensionen $l_{KR} = 0.25 \text{ m}$ und $d_{KR} = 0.05 \text{ m}$. Das innere Volumen des Rohrs kann vernachlässigt werden, da dieses nicht ferromagnetisch ist und daher wird eine Permeabilitätszahl von $\mu_r = 1$ angenommen.

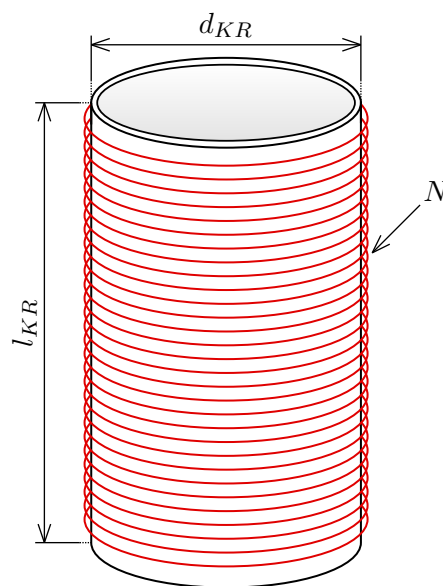


Abbildung 1. Kunststoffrohr mit Kupferwicklung

2.1 Berechnungen

Bevor ein Drahtdurchmesser ausgewählt wurde, musste ein Strom angenommen werden. Dazu wurde die Stromdichte $J_{CU} = 5 \text{ A/mm}^2$ verwendet, welche von der Seite <https://www.chemie.de/lexikon/Stromdichte.html> entnommen wurde und leicht angepasst wurde. Mit dieser Stromdichte können nun die maximale Ströme der zur Verfügung gestellten Kupferdrähte berechnet werden.

$d_{CU} [\text{mm}]$	0.4	0.42	0.52	0.6	0.7
$I_{MAX} [\text{A}]$	0.63	0.69	1.06	1.41	1.92

Tabelle 1. Berechnete Maximalströme

Festgelegt wurde die Stromstärke auf $I_{Spule} = 0.9 \text{ A}$ und den Drahtdurchmesser auf $d_{CU} = 0.7 \text{ mm}$, damit die Anzahl Windungen reduziert werden kann und der daraus entstehende Aufwand reduziert wird. Mit Strom und Drahtdurchmesser definiert, wird die Formel 2.1 nach der Windungszahl N aufgelöst, was die Gleichung 2.2 ergibt.

$$B_0 = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{l_{KR}} \quad (2.1)$$

$$\Rightarrow N = \frac{B_0 \cdot l_{KR}}{I \cdot \mu_0} = \frac{0.25 \text{ mT} \cdot 0.25 \text{ m}}{0.9 \text{ A} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}} = 55.262 \approx 56 \text{ Windungen} \quad (2.2)$$

Für die Spule werden 56 Windungen benötigt. Der Wert wurde aufgerundet, damit theoretisch eine minimale magnetische Felddichte von $B_0 = 0.25 \text{ mT}$ aufgebaut werden kann. Die Anzahl Windungen berechnet, wird nächstens der Spulenwiderstand ausgerechnet mit dem spezifischen Widerstand von Kupfer $\rho_{CU} = 0.017 \Omega \text{ m}$.

$$l_{Spule} = N \cdot \left(\frac{d_{KR}}{2} + \frac{d_{CU}}{2} \right) \cdot 2\pi = 56 \cdot 0.05035 \text{ m} \cdot 2\pi = 17.72 \text{ m} \quad (2.3)$$

$$R_{Spule} = \frac{\rho_{CU} \cdot l_{Spule}}{A_{CU}} = \frac{0.017 \Omega \text{ m} \cdot 17.72 \text{ m}}{\left(\frac{0.0007 \text{ m}}{2} \right)^2 \cdot \pi} = 0.783 \Omega \quad (2.4)$$

$$P_{Spule} = I_{Spule} \cdot R_{Spule} = 0.9 \text{ A} \cdot 0.753 \Omega = 0.634 \text{ W} \quad (2.5)$$

Die Spule wird vertikal aufgestellt und gemessen. Für die Messung wird folgendes erwartet:

- In der Mitte des Kunststoffrohrs sollte eine Flussdichte von $B = 0.25 \text{ mT} (\pm 0.02 \text{ mT})$ mit dem Gaussmeter gemessen werden.
- Ausserhalb der Spule sollte eine Flussdichte nahe 0 mT sein. Oberhalb sollte die Flussdichte nicht mehr 0.25 mT entsprechen sondern einem kleineren Wert.

3 Messschaltung

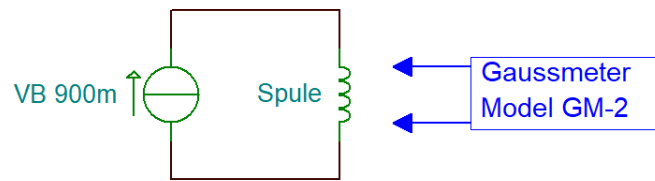


Abbildung 2. Messschaltung

Die Spule wird vertikal aufgestellt und die Messsonde wird von oben hineingehalten. Hier sollte bemerkt werden, dass die Sonde des Gaussmeters immer in Richtung der gemessenen Feldlinien zeigt. Das Messgerät wird in der Mitte der Spule genullt (*relative zero*).

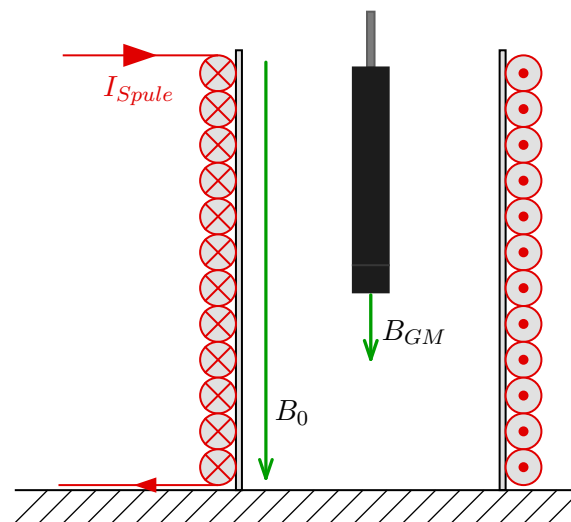


Abbildung 3. Sonde

Für die Widerstandsmessung wird mit dem Multimeter der Virtual Bench die Spule und die Messkabel selbst gemessen. Da beide Widerstände in Serie verbunden sind, kann der Kabelwiderstand vom Gesamtwiderstand abgezogen werden.

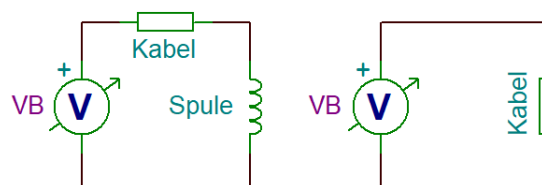


Abbildung 4. Messschaltung für Widerstandsmessung

3.1 Messgeräte

- NI Virtual Bench 'EL-13-041' (Multimeter & Powersupply)
- AlphaLab Inc. Gaussmeter Model GM-2

4 Resultate

4.1 Magnetfeld

Abbildung 5 zeigt die Punkte, an denen gemessen wurden. Was aber dabei bemerkt werden muss ist, dass die genaue Position nicht genau der Abbildung entspricht, da keine Vorrichtung verwendet wurde um die Position genau zu setzen, weil es eine experimentelle Validierung ist.

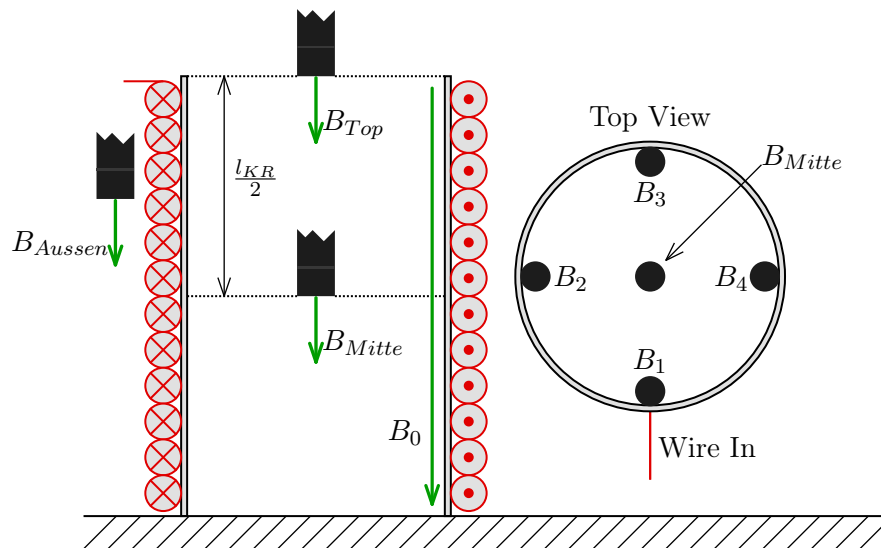


Abbildung 5. Messung

B_{Mitte}	B_{Top}	B_{Aussen}	B_1	B_2	B_3	B_4
0.28	0.14	-0.03	0.29	0.35	0.29	0.31

Tabelle 2. Gemessene Werte (Werte sind in mT)

I_{Spule}	0.9 A	0.82 A
B_{Mitte}	0.28 mT	0.25 mT

Tabelle 3. Stromanpassung bei Flussdichtemessung

4.2 Widerstand

R_{GES}	R_{Kabel}	R_{Spule}	$R_{Spule-berechnet}$
1.1 Ω	0.224 Ω	0.876 Ω	0.783 Ω

Tabelle 4. Gemessene & berechnet Widerstände

$$R_{Spule} = R_{GES} - R_{Kabel} \quad (4.1)$$

5 Schlussfolgerung

Die Magnetfeld- & Widerstandsmessungen trafen den Erwartungen zu, aber bei beiden Messungen gab es Abweichungen.

Der gemessene Widerstand der Spule wich vom berechneten Widerstand um ca. 10% ab. Ein Teil der Abweichung könnte von der Berechnung der Drahtlänge sein. Es wurde mit gestapelten Ringen gerechnet, anstatt wie eine Spule. Oder es kann auch von der Toleranz her kommen. Der gemessene Wert selbst aber kommt sehr nahe dem berechneten nahe.

Bei der Messung von B_{Mitte} wurde anstatt 0.25 mT der Wert 0.28 mT gemessen. Mit Abweichungen musste gerechnet werden, da die Realität von Messungen nicht eins zu eins der Theorie entspricht. Die Abweichung wird aber vernachlässigt, weil diese Messung eine experimentelle Validierung ist, welche die Gleichung 2.1 zeigt. Diese Messung hätte man eventuell besser messen können, wenn man zusätzlich ein leicht ferromagnetisches Material für das Innere der Spule verwenden würde.

Interessant aber war, dass am Rand der Spule B_{Top} eine schwächere Flussdichte gemessen wurde, da der Magnetische Fluss sich ausdehnte und nicht mehr in einer homogenen Richtung floss. Ausserhalb der Spule wurde ein negativer Wert gemessen, welcher der Theorie stimmen würde, aber ob dieser Wert genau diesem Fluss entspricht ist nicht klar.

6 Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit selbständig und ohne andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst habe.

Datum, Ort

Unterschrift

7 Anhang

7.1 Bilder

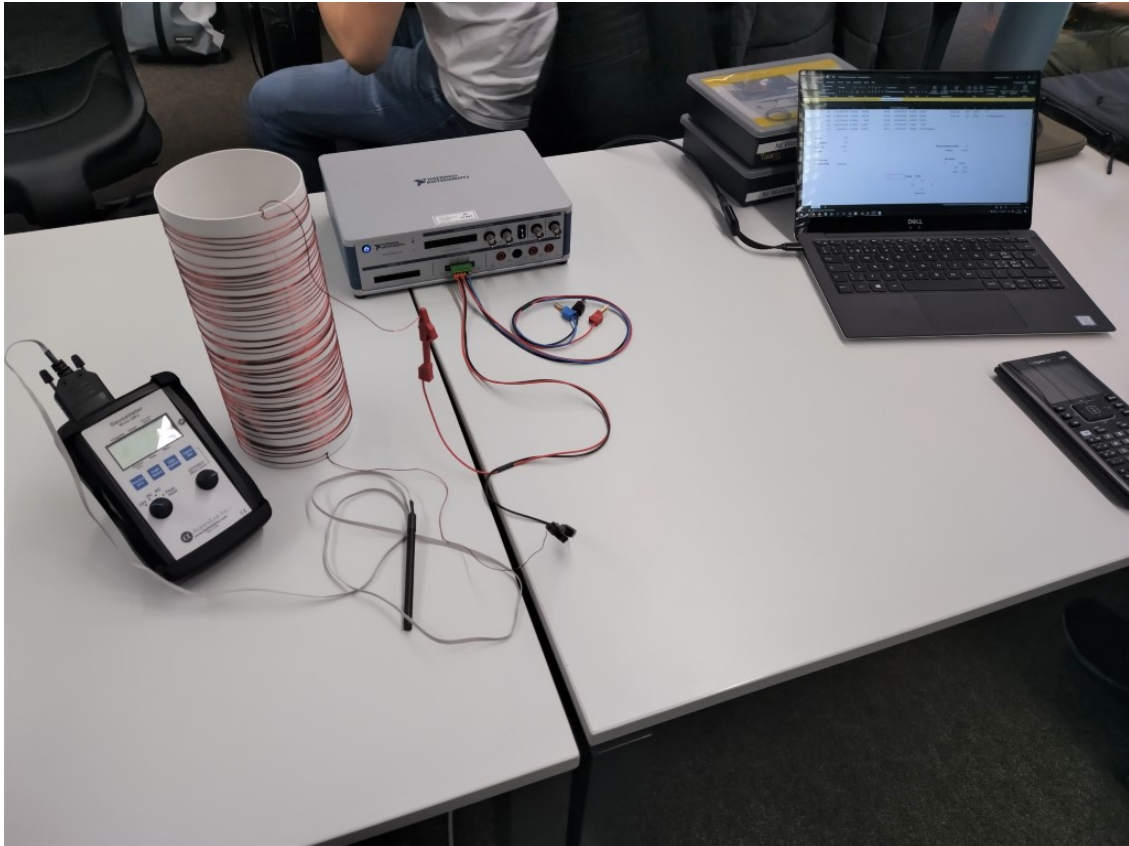


Abbildung 6. Messungsaufbau (Das Bild zeigt vertauschte Speisungs-Kabel und die Spule ist auf dem Kopf \Rightarrow Das Foto wurde erst am Schluss gemacht, nachdem noch anderes ausprobiert wurde mit der Spule)