

Versuch 242: Elektrische und Magnetische Krafteinwirkung auf geladene Teilchen

In Versuch 242 werde ich mit Hilfe von zwei Experimenten zunächst $\frac{e}{m}$ und dann e bestimmen. Durch einsetzen und umformen erhalten wir somit die Masse eines Elektrons.

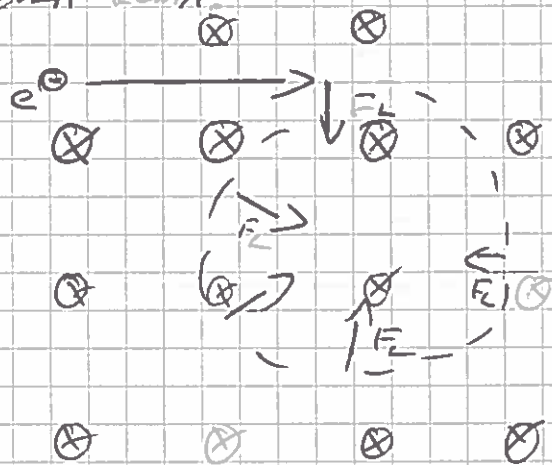
Versuch 1. Fadenstahlrohr

In einem homogenen Magnetfeld durch ein Helmholtz-Spulen-paar werden Elektronen aus einer Anode beschleunigt, sodass sie gerade in einem Glasröhrchen mit

Gas geschlossen werden. Dieses Gas ist Wasserstoff und die Elektronen ionisieren das Gas, weshalb man die Flugbahn der Elektronen leichter sehen kann.

durch die ~~Helmholtz~~ Rohmröhre

Abb 1
Laufbahn des
Elektrons



Die Elektronen sind bewegte
Ladungen in einem Magnetfeld, also
wirkt F_L

$$\vec{F}_L = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\vec{v} \perp \vec{B}, \quad q = -e$$

$$F_L = e v B$$

Die Zentripetalkraft ist hier gleich
der Lorentzkraft. (für eine Kreisbahn) ✓

$$e v B = \frac{m v^2}{r} \quad \checkmark$$

Energiesatz: $U_B e = \frac{1}{2} m v^2$

~~$$e v B = \frac{2 U_B e}{r} \quad | : e$$~~

$$e v B = \frac{m v^2}{r} \quad | : v$$

$$\Rightarrow e B = \frac{m v}{r} \quad |^2$$

$$\Rightarrow e^2 B^2 = m \cdot \frac{m v^2}{r^2} \quad | \frac{1}{2} m v^2 = 2 e U_B$$

$$\Rightarrow e^2 B^2 = m \frac{2 e U_B}{r^2} \quad | : e \quad | : m \quad | : B^2$$

$$\Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{2 U_B}{r^2 B^2}$$

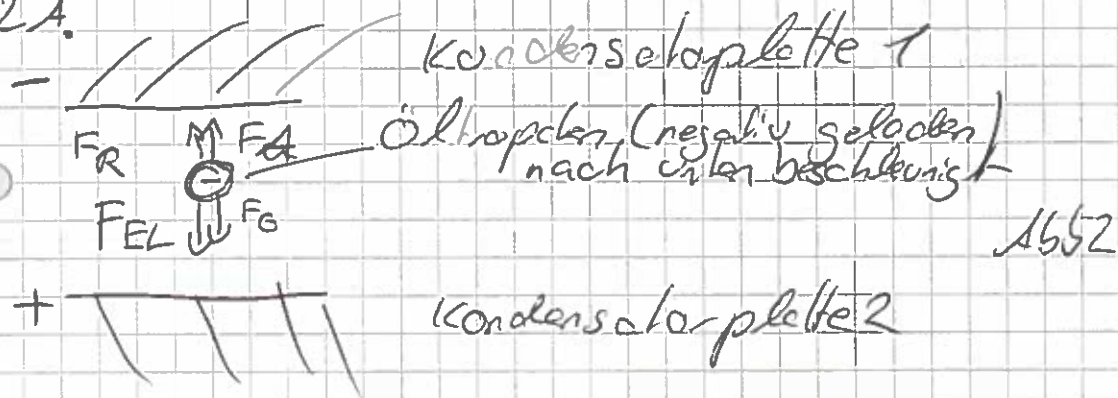
$$\text{mit } B = \left(\frac{v}{5} \right)^{\frac{3}{2}} \mu_0 \frac{n I}{R} \approx 9 \cdot 10^{-7} \frac{V_s}{4 m} \frac{n I}{R}$$

Versuch 2. Öltröpfchen-Millikan-Experiment

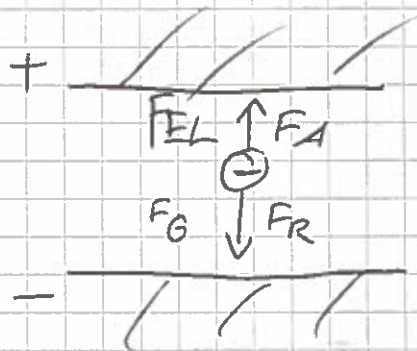
Beim Millikan Versuch werden Öltröpfchen in einen Kondensator gesprüht und dann durch das E-Feld nach oben/unten gezogen.

Dadurch kann man Ladung des Öltröpfchens errechnen und darüber die Elementarladung

292A.



Ist das E-Feld andersrum:



$$F_G = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho g$$

VE der Käfte?

$$F_R = 6\pi r \eta v_i$$

$$F_E = \frac{qU}{d}$$

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{\eta_{\text{Luft}}}{1 + \frac{A}{r}}$$

$$F_A = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho_{\text{Luft}} g$$

$$\Rightarrow N \cdot e = 3\pi \eta_{\text{eff}} r \frac{U_s + U_E}{E}$$

242. B

$$2v_0 \stackrel{!}{=} \cancel{v_F - v_S} v_F - v_S$$

$$(1) \quad \frac{4\pi}{3} r^3 (\rho_{\text{öl}} - \rho_{\text{Luft}}) g - 6\pi\eta r v_F = -N_e E$$

$$(2) \quad \frac{4\pi}{3} r^3 (\rho_{\text{öl}} - \rho_{\text{Luft}}) g + 6\pi\eta r v_S = +N_e E$$

In (1) $+ N_e E$,

dann (2) einsetzen:

$$\Rightarrow \frac{4\pi}{3} r^3 (\rho_{\text{öl}} - \rho_{\text{Luft}}) g + 6\pi\eta r v_S = \frac{4\pi}{3} r^3 (\rho_{\text{öl}} - \rho_{\text{Luft}}) g - 6\pi\eta r v_F$$

$$\Leftrightarrow 6\pi\eta r v_S = -6\pi\eta r v_F$$

$$(3) \stackrel{\text{ohne}}{E\text{-Feld}} \quad \frac{4\pi}{3} r^3 (\rho_{\text{öl}} - \rho_{\text{Luft}}) g - 6\pi\eta r v_0 = 0$$

$$\text{und } (3) = 0 = (1) + (2)$$

$$\rightarrow 2(3) - (1) - (2) \stackrel{!}{=} 0$$

$$\Rightarrow 12\pi\eta r v_0 = \pm 6\pi\eta r v_F + 6\pi\eta r v_S$$

$$\Leftrightarrow 2v_0 = \pm v_F + v_S$$

$$\Leftrightarrow 2v_0 = v_F - v_S \quad \text{cl.}$$

Versuch 1. Faradayrohr

gebraucht: U_B, I, R

U_B in V I in A d in cm

200 1,37 10,1

Anders Magnetfeld: (180°)

200 1,16 10,1

160 1,5 7,7

180°

160 1,55 7,7

180°

240 1,08 8,4

240 1,05 8,4

180°

220 2 7,1

220 2 7,1

180°

170 1,2 10,9

170 1,07 10,5

180°

240 1,3 10,7

240 1,35 10,7

180°

200 1,1 12,3

200 1,03 12,3

180°

180 1,33 9,5

180 1,4 9,5

180°

210 1,6 8,6

210 1,53 8,6

Versuch 2

t_{\uparrow}	t_{\downarrow}	t_0	in sek
28,1	33,7		8,19
3,46	1,16		10,14 ↗
0,5 1,92	2,18		5,58 ↗
1,04	1,74	2,36	(2,19) ↗
1,43	0,72		2,22
1,3	0,78		2,02
5,91	5,64		4,1
2,05	1,12		4,54
15,81	4,3		9,45

~~_____~~ *ok*

Auswertung:

242. b)

(1)

Schreiben wir ihr hier nach, führe den
 $F = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$ *Lege dich das beibehalten*

$(\vec{B} \parallel \vec{B}_S \parallel \pm \vec{B}_E) \perp \vec{v}$ *Werte für B_E*

$\Rightarrow F = ev(B_S \pm B_E)$

(2)

$F_{\uparrow} = F$

$\Leftrightarrow ev(B_{S1} \pm B_E) = ev(B_{S2} \pm B_E)$

$\Leftrightarrow B_{S1} + 2B_E = B_{S2}$

$B_{S1} = 9 \cdot 10^{-7} \frac{V_S}{A \cdot m} \frac{n I_1}{R}$

$B_{S2} = 9 \cdot 10^{-7} \frac{V_S}{A \cdot m} \frac{n I_2}{R}$

$B_E = \frac{1}{2}(B_{S2} - B_{S1})$

$B = \frac{1}{2} B_S (\underbrace{I_2 - I_1}_{\Delta I}) + B_S (I_1)$

- ~~$3,5 \cdot 10^{-4} T$~~
- ~~$-1,5 \cdot 10^{-4} T$~~
- ~~$-4,2 \cdot 10^{-4} T$~~
- ~~$0 T$~~
- ~~$2,8 \cdot 10^{-4} T$~~
- ~~$1,1 \cdot 10^{-4} T$~~
- ~~$1,3 \cdot 10^{-4} T$~~
- ~~$1,7 \cdot 10^{-4} T$~~
- ~~$1,5 \cdot 10^{-4} T$~~

(3) Für die Fehler, schätze ich ab:

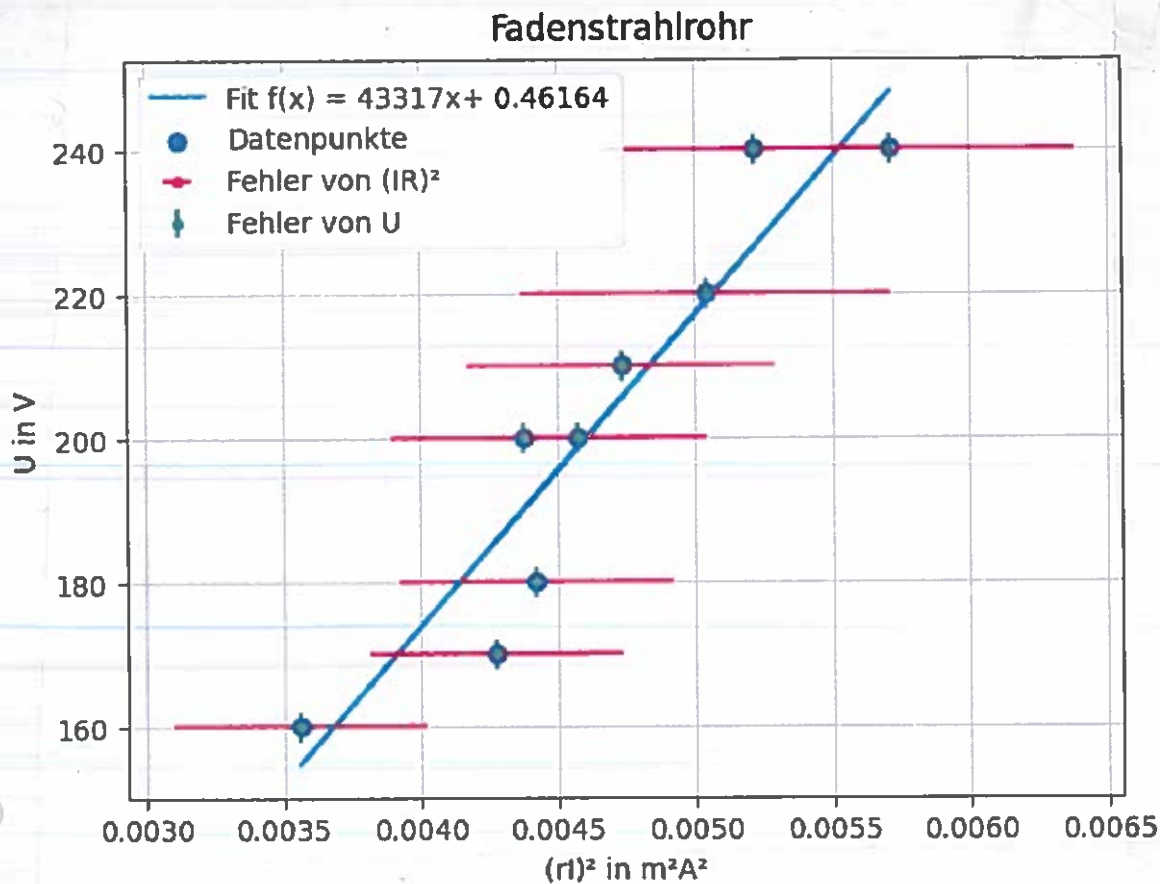
$$\Delta U \approx 2V$$

$$\Delta R \approx 0,2 \text{ cm}$$

$$\Delta I \approx 0,02 \text{ A}$$

$$\Rightarrow \Delta (IR)^2 = \frac{\partial}{\partial I} \cdot \Delta I + \frac{\partial}{\partial R} \Delta R$$

$$= 2R^2 \cdot I \cdot \Delta I + 2I^2 \cdot R \cdot \Delta R$$



1563

(4)

~~$$\frac{e}{m} = \frac{U}{r^2 I^2} \mu_0$$~~

$$\frac{e}{m} = 3,9 \cdot \frac{R^2}{n^2 \mu_0^2} \left[\frac{U}{r^2 I^2} \right]$$

$$R = 0,15 \text{ m}$$

$$n = 260$$

Brutto!

$$\frac{e}{m} = 5.480.435 \cdot \left[\frac{U}{r^2 I^2} \right]$$

Die Lösungen für $\frac{e}{m}$ mit meinen Werten in $\frac{C}{kg}$

$$2,8 \cdot 10^{-11}$$

$$2,5 \cdot 10^{-11}$$

$$2,5 \cdot 10^{-11}$$

$$2,4 \cdot 10^{-11}$$

$$2,4 \cdot 10^{-11}$$

$$2,6 \cdot 10^{-11}$$

$$2,6 \cdot 10^{-11}$$

$$2,3 \cdot 10^{-11}$$

$$2,5 \cdot 10^{-11}$$

Fehler?

Im schnitt ist es

$$\frac{e}{m} = 5.480.435 \cdot \text{Steigung Fit-Berechnung}$$

$$\text{Fitgerade} = 433.17x + 0,46$$

$$\frac{e}{m} = 2,35 \cdot 10^{-11} \frac{C}{kg}$$

Vergleich mit der Literatur!

Literaturangabe: $1,76 \cdot 10^{-11} \frac{C}{kg}$

www.physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?esme

~~(5) Die Werte habe ich in (3) schon berechnet.~~

~~Als Durchschnitt erhalte ich~~

$$\vec{B}_E = 2 \cdot 10^{-4} T,$$

(5) Meine Werte ($B_E = \frac{1}{2} (B_2 - B_1)$)

$$\text{mit } B = 0,716 \mu_0 \frac{260 \cdot I_i}{0,15m}$$

sind: ~~$4,82 \cdot 10^{-4}$~~

$$1,17 \cdot 10^{-4} T \quad 3,9 \cdot 10^{-5} T$$

$$3,9 \cdot 10^{-5} T \quad 5,45 \cdot 10^{-5} T$$

$$1,17 \cdot 10^{-4} T \quad 5,45 \cdot 10^{-5} T$$

$$0 \quad T$$

$$1,07 \cdot 10^{-4} T$$



$$r \quad q_e$$

$$14,8 \cdot 10^{-7} \text{ m} \pm 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$(8,5 \pm 1,1) \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$(2,1 \pm 0,4) \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$(9,8 \pm 1,4) \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$(11,1 \pm 5,6) \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$(8,0 \pm 0,7) \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$(10,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$(13,9 \pm 3,1) \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$(3,1 \pm 3,5) \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$q \text{ in } 10^{-19} \text{ C}$$

$$19,2 \pm 5,5$$

$$9,4 \pm 2,1$$

$$4,3 \pm 0,5$$

$$12,7 \pm 3,3$$

$$32,8 \pm 0,3$$

$$6,6 \pm 1,1$$

$$25,5 \pm 2,2$$

$$31,7 \pm ~~13,9~~ 13,9$$

$$3,7 \pm 2,4$$

OK

Anmerkungen

- * Vereinzelt ungenaue Formulierungen
- * alle Werte immer mit Einheiten, auch Steigungen
- * alle berechn. Werte mit Formeln (auch berechn. normalweise)
- * mit Überlegungen durch den Doppelkoll. führ. auf Basis des Doppelkoll. soll jemand den Versuch selbst durchführen können
- * Wikipedia ist keine Quelle
- * sonstige schriftlich. Anmerkungen im Protokoll)

Anforderungen

- * unter g) bitte Fehlwert ergänzen

Nacharbeit g)

$$r = \sqrt{\frac{5\pi (v_{\uparrow} + v_{\downarrow})}{4 \cdot g \cdot (\rho_{\text{öl}} - \rho_{\text{wäss}})}}$$

$$\Delta r = \frac{5\pi}{\sqrt{4361} (\rho_{\text{öl}} - \rho_{\text{wäss}}) \sqrt{\frac{\eta (v_{\downarrow} - v_{\uparrow})}{\rho_{\text{öl}} - \rho_{\text{wäss}}}}} \cdot \Delta v_{\downarrow}$$

$$+ \frac{5\pi}{\sqrt{4361} (\rho_{\text{öl}} - \rho_{\text{wäss}}) \sqrt{\frac{\eta (v_{\downarrow} - v_{\uparrow})}{\rho_{\text{öl}} - \rho_{\text{wäss}}}}} \cdot \Delta v_{\uparrow}$$

$$q = \frac{3\pi\eta r}{E} \frac{v_{\downarrow} + v_{\uparrow}}{E} \quad E = \frac{U}{\alpha} =$$

$$\Delta q = \frac{3\pi\eta r}{E} \Delta v_{\downarrow} + \frac{3\pi\eta r}{E} \Delta v_{\uparrow}$$

$$+ \frac{3\pi\eta (v_{\uparrow} + v_{\downarrow})}{E} \Delta r$$

$$\Delta v_{\uparrow} \text{ bzw. } \Delta v_{\downarrow} = \frac{1}{1!} \frac{5}{+2} \Delta t + \frac{1}{2!} \frac{25}{+3} \Delta t^2 + \dots$$

242.k

$$m = \left(\frac{e}{m} : e \right)^{-1}$$

$$\frac{e}{m} = 2,35 \cdot 10^{-11} \frac{C}{kg}$$

$$e = 5,68 \cdot 10^{-20} C$$

$$\Rightarrow m = 2,4 \cdot 10^{-31} kg$$

Literaturwert: $9,1 \cdot 10^{-31} kg$

physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?me ok

$\frac{e}{m}$ Literaturwert Abweichung 30%

e_0 Literaturwert Abweichung 256%

m Literaturwert Abweichung 380%

Fazit: Der erste Versuch hat gut geklappt.

Für den zweiten Versuch habe

ich statt von 10 Tropfen 5 und

von 4 Tropfen 1 Wert. Das sieht

man auch. Fürchterlich große

Ungenauigkeiten und keine Werte, die

zu Literaturwerten führen.

Zuerst fast 3h nur falsche Werte

bekommen und danach am 3ten Gerät

in kurzer Zeit paar einigermaßen logische

Werte zusammengeschl. mit $e_0 = 1,602 \cdot 10^{-19} C$

erhalte ich für m $6,8 \cdot 10^{-31} kg$, was

einer Abweichung von 34% entspricht +

Schuld ist also kein Versuch 2

und die Probleme bei der Durchführung

Alle skizze: github.com/ManiGerhardt
ugs.

Deshalb suche ich nun ungefähre Werte raus.

Im Praktikumsheft stand, ein Tropfen bewege sich mit $1/10 - 1/100 \text{ mm/s}$.

Damit sind $1,2,8 \text{ und } 9$ übrig.

Unter denen ist der größte gemeinsame

Teiler: ~~$1,25 \cdot 10^{-19} \text{ C}$~~

$$6,25 \cdot 10^{-20} \text{ C}$$

In dem Fall ist

$$I = 5 \cdot q \quad 4,8$$

$$II = 28 \cdot q \quad 27,9$$

$$III = 28 \cdot q \quad 28,2$$

$$IV = 4 \cdot q \quad 3,9$$

(Ich will nicht einfach
abbrechen, auch wenn
es wenig Sinn
macht)

$$(i) \quad e_0 = e_{si} \times \left(1 + \frac{A}{r_i}\right)$$

$$A = \text{Mittlere freie Weglänge} = 1,62 \cdot 68 \text{ nm}$$

Q: www.wikipedia.org/wiki/Mittlere_freie_Weglänge kein Wert

$$\Rightarrow e_{01} = 6,04 \cdot 10^{-20} \text{ C}$$

$$e_{02} = 5,65 \cdot 10^{-20} \text{ C}$$

$$e_{03} = 5,36 \cdot 10^{-20} \text{ C}$$

$$e_{04} = 6,39 \cdot 10^{-20} \text{ C}$$

$$e_0 = 5,86 \cdot 10^{-20} \text{ C} \pm 5 \cdot 10^{-42} \text{ C}$$

↓
Fehler absolut
unnutzbar
(nach Gauß)
Ja.

Umbeladung?
Schreiben neu,
passend

(g) Mit der Formel 242.8 erhalten wir
für die Tropfen folgenden Radius
und mit 242.9 folgenden Ladung:

Radius in m	N.e in $10^{-19} C$	sr?	o.k.?
$7,4 \cdot 10^{-7}$	2,97		
10,6 $\cdot 10^{-7}$	12,48		
$13,1 \cdot 10^{-7}$	28,29		
$9,5 \cdot 10^{-7}$	19,18		
$12,7 \cdot 10^{-7}$	34,78		
$11 \cdot 10^{-7}$	29,47		
$1,3 \cdot 10^{-7}$	0,63		
$9,7 \cdot 10^{-7}$	17,62		
6,1 $\cdot 10^{-7}$	2,44		

h) Ich werfe Messwert 7 raus, da
er nicht dazu passt und in den Trend?
~~desweiteren~~ sehr ich ein Muster, oder warum?
~~von 5 von 8 Werten $\pm 0,1$~~
~~vielfaches von q sind.~~
Außerdem ist Wert 7 der Einzige,
dessen v_d langsamer als v_0 war,
was unrealistisch für die Id. d. p. sh. ok.

Mein Problem: Meine Werte sind sehr
fehlerbehaftet. Wir haben in 3 Stunden
Experimentieren nur 2 richtige Werte bekommen
und die letzten 7 sind unter Zeitdruck
entstanden.

Mit der Formel: $\Delta B = \left(\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (B_i - \bar{B})^2 \right)^{\frac{1}{2}}$

und $\bar{B} = \frac{\sum_{i=1}^9 B_i}{9}$

erhalte ich:

$$\bar{B} = 6,407 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

$$\Delta B = 1,323 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

$$B = (6,4 \pm 1,3) \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

wikipedia.org/wiki/Erdmagnetfeld spricht von $4 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ in Deutschland.

Fazit 1:

Mein Wert für $\frac{e}{m}$ weicht um 30% vom Literaturwert ab, was nicht viel ist, da sich beim Magnetfeld der Erde eine Abweichung von 60% habe und ich auch nur 9 schnelle Messungen gemacht habe.

Der Aufbau / der Versuch an sich hat allerdings gut geklappt und ich bin mit dem Ergebniss zufrieden, bis auf den Fehler der Erdmagnetfeldflussdichte, welcher zu klein ist, Schluß gebe ich den etwas ungenauen Messungen.

Welche Ungenauheit wo, wie kann man das ggf. verbessern.