

Versuchsprotokoll zum Versuch Nr. 501/2

Elektronen im E-Feld und B-Feld

Johannes Kollek	Jean-Marco Alameddine
johannes.kollek@udo.edu	jean-marco.alameddine@udo.edu

Durchführung: 28.06.2016

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	3
1.1	Ablenkung des Elektronenstrahls mittels E-Feld	3
1.1.1	Kathodenstrahl-Oszillograph durch Ausnutzen der Ablenkeigenschaft . . .	4
1.2	Ablenkung des Elektronenstrahls mittels B-Feld	4
1.2.1	Bestimmung der spezifischen Elektronenladung	5
2	Fehlerrechnung	6
3	Versuchsaufbau	7
3.1	Aufbau einer Kathodenstrahlröhre	7
3.2	Ablenkung des Elektronenstrahls mit einem B-Feld	7
4	Versuchsdurchführung	8
4.1	Untersuchung der Ablenkungseigenschaften des Elektronenstrahls	8
4.2	Nutzung der Kathodenstrahlröhre als einfachen Oszillographen	8
4.3	Untersuchung der Ablenkung durch ein Magnetfeld	8
4.4	Bestimmung des Erdmagnetfeldes durch dessen Einfluss auf den Elektronenstrahl	8
5	Auswertung	9
5.1	Ablenkung durch das E-Feld	9
5.1.1	Bestimmung der Apparaturkonstante	9
5.1.2	Untersuchung der Sinusspannung	12
5.2	Ablenkung durch das B-Feld	13
5.2.1	Bestimmung der spezifischen Elektronenladung	13
5.2.2	Messung der Größe des Erdmagnetfeldes	16
6	Diskussion	17
6.1	Diskussion zum Versuch mit E-Feld	17
6.2	Diskussion zum Versuch mit B-Feld	17
7	Fotodokumentation - Zwei Semester Anfängerpraktikum	19
8	Nachwort	25
	Literatur	25

1 Theorie

Um sowohl das Ablenkverhalten von Elektronen in einem elektrischen, als auch in einem magnetischen Feld zu untersuchen, muss zunächst ein möglichst gebündelter Elektronenstrahl erzeugt werden. Dies geschieht mittels einer Kathodenstrahlröhre, auf deren Aufbau in Kapitel 3 näher eingegangen wird. Im Wesentlichen erzeugt sie über den glühelektrischen Effekt Elektronen, die über eine Anode beschleunigt werden. Wichtig ist hierbei zu erwähnen, dass die gesamte Apparatur in einem Hochvakuum (bis ca. 10^{-6} mbar) sein muss, damit die Elektronen nicht mit Molekülen in Wechselwirkung treten und somit ihre eigentliche Bahn verfälschen. Wenn die Elektronen die Anode passieren, sollten sie idealerweise eine kinetische Energie von

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}m_0v_z^2 = e_0U_B \quad (1)$$

haben. Dabei beschreibt U_B die Beschleunigungsspannung, e_0 und m_0 die Elektronenladung und -masse und v_z dessen Geschwindigkeit in z-Richtung. Demnach folgt der Ausdruck

$$v_z = \sqrt{\frac{2e_0U_B}{m_0}}. \quad (2)$$

1.1 Ablenkung des Elektronenstrahls mittels E-Feld

Für weitere Erläuterungen wird das Schema 1 betrachtet.

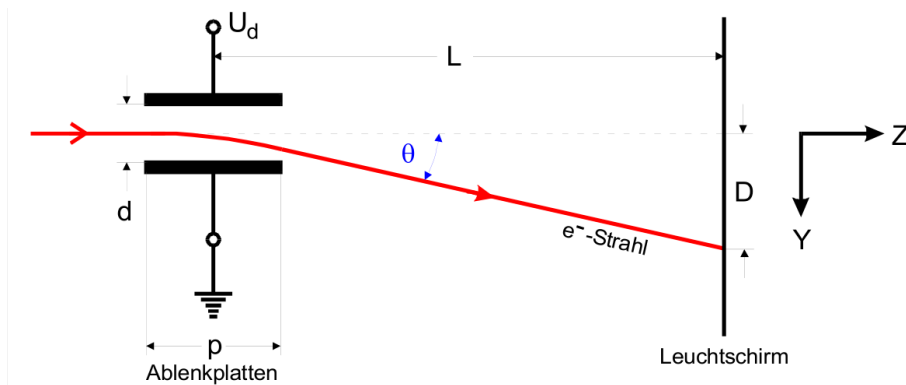


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Ablenkung mittels E-Feld. [4]

Passieren die Elektronen den Kondensator, werden sie durch das E-Feld vertikal abgelenkt. Auf sie wirkt eine konstante Kraft von

$$e_0E = e_0\frac{U_d}{d}, \quad (3)$$

wenn angenommen wird, dass der Plattenabstand d klein gegenüber der Plattenlänge p ist. Durch die konstante Kraft führt das Elektron eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung in y-Richtung aus. Die Geschwindigkeit in jene Richtung, die es aufnimmt ist demnach

$$v_y = \frac{F}{m_0}\Delta t, \quad (4)$$

wobei

$$\Delta t = \frac{p}{v_z} \quad (5)$$

die Zeit ist, in der sich ein Elektron zwischen den Platten aufhält. Es ergibt sich

$$v_y = \frac{e_0 U_d p}{m_0 d v_z} \quad (6)$$

und da sich ein Elektron geradlinig gleichförmig nach Verlassen des Kondensators bewegt, folgt für den Ablenkwinkel

$$\theta = \frac{v_y}{v_z}. \quad (7)$$

Daraus lässt sich für die endgültige Ablenkung D am Schirm die Formel

$$D = L\theta = \frac{e_0}{m_0} \frac{U_d}{d} \frac{p}{v_z^2} = L \frac{p}{2d} \frac{U_d}{U_B} \quad (8)$$

schreiben.

Um hochfrequente Wechselspannungen zu messen, muss p möglichst klein und U_B groß sein. Dadurch wird jedoch die Ablenkung klein. Die Kunst besteht demnach darin, einen guten Mittelweg zu finden.

1.1.1 Kathodenstrahl-Oszillograph durch Ausnutzen der Ablenkeigenschaft

Es ist durch die Ablenkeigenschaft, möglich einen Oszillographen zu realisieren, welcher eine Spannung in y-Richtung in Abhängigkeit von der Zeit in x-Richtung anzeigt. Hierzu wird im Prinzip nur die Ablenkung in y-Richtung mit der zu untersuchenden Spannung gespeist. Die Zeitachse wird durch eine Sägezahnspannung auf den Kondensator, welcher die Elektronen in x-Richtung ablenkt, gespeist. Stehen die beiden Frequenzen der beiden Ablenkungen in einem bestimmten Verhältnis zueinander, können stehende Wellen beobachtet werden. Dies ist der Fall, wenn das ganzzahlige Vielfache einer Frequenz durch ein ganzzahliges Vielfaches der anderen Frequenz darstellbar ist. Jene Bedingung wird auch Synchronisationsbedingung genannt.

1.2 Ablenkung des Elektronenstrahls mittels B-Feld

Für die Kraft, welche auf die Elektronen wirkt, ist die Lorentzkraft

$$\vec{F} = e_0 \vec{v} \times \vec{B} \quad (9)$$

für ein Elektron der Geschwindigkeit v in einem Magnetfeld der Stärke B zu beachten. Bei einer reinen Geschwindigkeit in z-Richtung, sowie einem Magnetfeld in x-Richtung wird eine zu jeder Zeit senkrechte Ablenkung durch die Kraft

$$F = e_0 v_z B \quad (10)$$

realisiert. Diese wirkt demnach wie eine Zentripetalkraft und es ergibt sich der Ausdruck

$$e_0 v_0 B = \frac{m_0 v_0^2}{r}, \quad (11)$$

wobei zu jeder Zeit $v_0 = v_{z, \text{Anfang}}$ gilt. Nach Umformen nach dem Radius r ergibt sich

$$r = \frac{m_0 v_0}{e_0 B}. \quad (12)$$

1.2.1 Bestimmung der spezifischen Elektronenladung

Um die experimentelle Ablenkung des Elektronenstrahls untersuchen zu können, wird Schema 2 zur Hilfe genommen. Dabei folgt nach geometrischen Überlegungen (Satz des Pythagoras) für

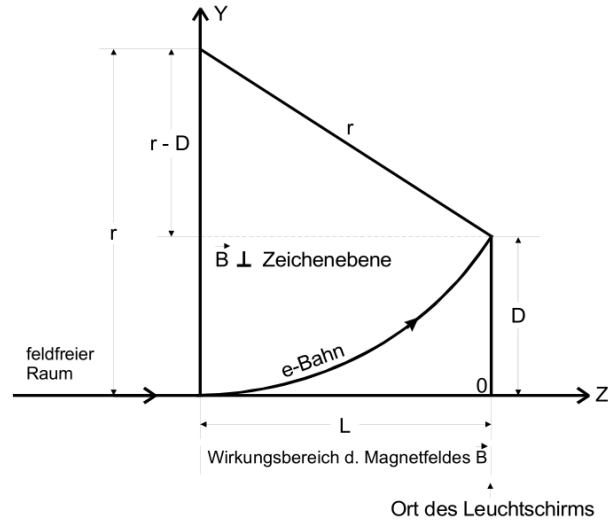


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Ablenkung mittels B-Feld. [5]

den Ablenkungsradius des Elektronenstrahls im Wirkungsbereich des E-Feldes

$$r = \frac{L^2 + D^2}{2D} \quad (13)$$

und nach Gleichsetzen mit Gleichung (12) nach Einsetzen der Beziehung (2) gilt für die spezifische Elektronenladung

$$\frac{e_0}{m_0} = \frac{8U_B}{B^2} \frac{D^2}{(L^2 + D^2)^2}. \quad (14)$$

2 Fehlerrechnung

Im folgenden Kapitel werden die wichtigsten Formeln der Fehlerrechnung aufgelistet, welche für die folgende Versuchsauswertung benötigt werden. Der Mittelwert berechnet sich zu

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (15)$$

Der Fehler des Mittelwertes berechnet sich zu

$$\Delta\bar{x} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} . \quad (16)$$

Die Schätzung der Standardabweichung berechnet sich zu

$$\Delta x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} . \quad (17)$$

Für die Fehlerrechnung wird bei allen folgenden Rechnungen das Gaußsche Fehlerfortpflanzungsgesetz

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n\right)^2} \quad (18)$$

für eine Funktion $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, bei der die Größen x_1, x_2, \dots, x_n voneinander unabhängig sind, verwendet.

3 Versuchsaufbau

3.1 Aufbau einer Kathodenstrahlröhre

Der grundlegende Aufbau einer Kathodenstrahlröhre ist in Abbildung 3 skizziert. Das Ziel des

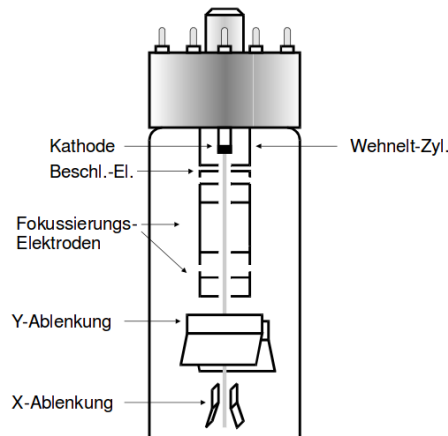


Abbildung 3: Grundlegender Aufbau einer Kathodenstrahlröhre. [4]

Gerätes ist es, freie Elektronen möglichst fokussiert zu beschleunigen. Dazu werden zunächst Elektronen in einer Glühkathode freigesetzt. Dies geschieht, indem ein Draht die Kathode indirekt heizt, so dass sich von dessen Oberfläche Elektronen herauslösen. Damit dies auch bei niedrigen Temperaturen funktioniert, ist die Austrittsarbeit des Kathodenmaterials möglichst gering. Durch eine Beschleunigungselektrode, an welcher durch die Beschleunigungsspannung U_b ein positives Potential anliegt, werden die Elektronen beschleunigt. Damit der Beschleunigungsvorgang ohne Kollisionen abläuft, muss sich die gesamte Kathodenstrahlröhre in einem Vakuum befinden.

Um den Beschleunigungsvorgang zu vereinfachen wird ein sogenannter Wehnelt-Zylinder verwendet. An diesem liegt ein negatives Potential an, welches die Elektronen abstößt. Dies führt einerseits zu einer Fokussierung des Strahls, da die Elektronen vom Kathodenrand abgestoßen werden, andererseits zu der Möglichkeit der Intensitätssteuerung des Elektronenstrahls. Durch ein kleines Loch im Wehnelt-Zylinder können die Elektronen die Glühkathode verlassen. Mithilfe von Fokussierungselektroden, welche mit inhomogenen elektrischen Feldern arbeiten, wird der Strahl fokussiert. Dies funktioniert ähnlich zur Optik, die Brechkraft der Fokussierung wird durch eine Spannung U_c geregelt.

Nach der Fokussierung kann der Strahl durch zwei Kondensatorplatten, welche orthogonal zueinander in X-Richtung und Y-Richtung angeordnet sind, abgelenkt werden. Dazu wird eine variable positive oder negative Ablenkspannung angelegt - Je nachdem, in welche Richtung der Elektronenstrahl wie stark abgelenkt werden soll. Zum Schluss kann der Elektronenstrahl auf einem Leuchtschirm sichtbar gemacht werden. Auf diesem treffen die Elektronen auf, so dass der Leuchtschirm zur Lichtemission angeregt wird. Zudem ist ein Koordinatensystem mit 9 äquidistanten Linien im Viertelzollabstand eingezeichnet.

3.2 Ablenkung des Elektronenstrahls mit einem B-Feld

Zur Untersuchung des Verhaltens des Elektronenstrahls unter Einfluss eines Magnetfeldes wird eine Helmholtz-Spule verwendet. Diese bestehe aus zwei kreisförmigen Spulen, die parallel angeordnet sind. Genau in der Mitte beider Spulen entsteht somit ein nahezu homogenes Magnetfeld.

4 Versuchsdurchführung

Vor Beginn der Versuchsreihen wird der Aufbau gemäß Versuchsaufbau verkabelt. Es muss auf die Erdung der Ablenkplatten geachtet werden. Nach einer einminütigen Aufwärmzeit der Glühkathode kann die Beschleunigungsspannung angelegt und die Kathodenstrahlröhre verwendet werden. Für jede Messung wird die Spannung U_c der Fokussierungselektroden sowie die Leuchtintensität so gewählt, dass der Elektronenfleck auf dem Schirm gut zu erkennen ist.

4.1 Untersuchung der Ablenkungseigenschaften des Elektronenstrahls

Zunächst wird für fünf verschiedene Beschleunigungsspannungen zwischen 250 V und 400 V die Ablenkung D des Elektronenstrahls bei verschiedenen Ablenkspannungen in Y-Richtung untersucht. Dabei wird willkürlich der Messnullpunkt auf die oberste Linie des Koordinatensystems gelegt. Es wird nun gemessen, bei welcher Ablenkspannungen die Koordinatenlinien vom Elektronenstrahl getroffen werden.

4.2 Nutzung der Kathodenstrahlröhre als einfachen Oszillographen

Die Kathodenstrahlröhre bildet die Grundlage eines analogen Oszillographen. Dazu wird die zu messende Spannung an die Ablenkplatten in Y-Richtung sowie eine Sägezahnspannung an die Ablenkplatten in X-Richtung angelegt. Es wird eine feste Sinusspannung betrachtet und es werden die Frequenzen der Sägezahnspannung notiert, für die eine stehende Welle abgelesen werden kann. Zudem wird jeweils die Amplitude der Sinusspannung abgelesen.

4.3 Untersuchung der Ablenkung durch ein Magnetfeld

Mithilfe der Helmholtzspulen wird der Elektronenstrahl einem Magnetfeld ausgesetzt. Um die Auswirkung des Erdmagnetfeldes zu eliminieren, wird mithilfe eines Kompasses die Richtung des Erdmagnetfeldes lokalisiert und der Aufbau parallel zu diesem ausgerichtet. Nun wird für fünf Beschleunigungsspannungen zwischen 250 V und 450 V die Ablenkung D in Abhängigkeit von der Magnetfeldstärke B betrachtet. Dazu wird der Elektronenstrahl zunächst mithilfe der Ablenkplatten auf die oberste Linie des Koordinatennetzes bei ausgeschaltetem Magnetfeld ausgerichtet. Anschließend wird gemessen, für welchen an der Helmholtzspule angelegten Strom der Elektronenstrahl auf die 9 Koordinatenlinien gerichtet ist.

4.4 Bestimmung des Erdmagnetfeldes durch dessen Einfluss auf den Elektronenstrahl

Bei einer Beschleunigungsspannung von 200 V wird der Elektronenstrahl mit den Ablenkplatten auf den Mittelpunkt des Koordinatennetzes ausgerichtet. Dabei befindet sich der Versuchsaufbau noch parallel zum Erdmagnetfeld, das Magnetfeld der Helmholtzspule ist ausgeschaltet. Daraufhin wird der Aufbau um 90° gedreht. Der nun abgelenkte Elektronenstrahl wird durch das Anlegen eines Stromes an die Helmholtzspule wieder auf den Koordinatenmittelpunkt ausgerichtet. Somit wird das Erdmagnetfeld durch das Magnetfeld der Spulen gerade kompensiert.

Da das Erdmagnetfeld unter einem Inklinationwinkel ϕ auf den Versuchsaufbau einfällt, muss ebendieser Winkel mit dem Kompass bestimmt werden.

5 Auswertung

5.1 Ablenkung durch das E-Feld

5.1.1 Bestimmung der Apparaturkonstante

Die Messwerte, welche zur Bestimmung der Empfindlichkeit des Ablenksystems benutzt werden, sind in Tabelle 3 dargestellt. Dabei wird die Beschleunigungsspannung beginnend mit $U_B = 200 \text{ V}$ in 50 V-Schritten erhöht. Für jede Messreihe wird nun die Ablenkung D gegen die Ablenkspannung

Tabelle 1: Messdaten zur Bestimmung der Ablenkung im E-Feld.

D / in	U_1 / V	U_2 / V	U_3 / V	U_4 / V	U_5 / V
0,00	-8,55	-11,09	-13,35	-14,23	-17,43
0,25	-4,58	-6,36	-7,82	-7,67	-10,13
0,50	-1,10	-1,87	-1,96	-1,06	-2,40
0,75	2,61	2,91	3,79	5,38	5,17
1,00	6,18	7,59	8,92	11,67	12,58
1,25	9,59	12,00	14,64	17,93	19,83
1,50	13,26	16,60	20,09	24,32	27,00
1,75	16,80	20,98	25,31	30,78	34,23
2,00	20,40	25,35	30,81	/	/

aufgetragen. Mittels linearer Ausgleichsrechnung wird die Steigung, welche der Empfindlichkeit D/U entspricht, berechnet. Dabei wird die Ausgleichsrechnung in Python mithilfe von SciPy [3] durchgeführt. Die Fitparameter sind in Tabelle 2 angegeben, die entsprechenden Plots 4 bis 8

Tabelle 2: Fitparameter: Steigung m und y-Achsenabschnitt b .

U_b / V	$m / 10^{-4} \text{m V}^{-1}$	$\Delta m / 10^{-4} \text{m V}^{-1}$	$b / 10^{-3} \text{V}$	$\Delta b / 10^{-3} \text{V}$
200	17,67	0,08	14,68	0,09
250	13,91	0,07	15,18	0,09
300	11,51	0,06	15,11	0,10
350	9,91	0,03	13,91	0,06
400	8,58	0,04	14,84	0,08

sind am Ende dieses Kapitels aufgeführt.

Werden diese Steigungen nun gegen die Reziproke der Beschleunigungsspannung aufgetragen ergibt sich der Plot 9. Über eine lineare Ausgleichsrechnung können die Fitparameter

$$m = \frac{pL}{2d} = (0,362 \pm 0,004) \text{ m}$$

$$b = (-0,000\,049 \pm 0,000\,014) \text{ m V}^{-1}$$

ermittelt werden, wobei die Steigung m nach Formel (8) der zu bestimmenden Apparaturkonstante entspricht.

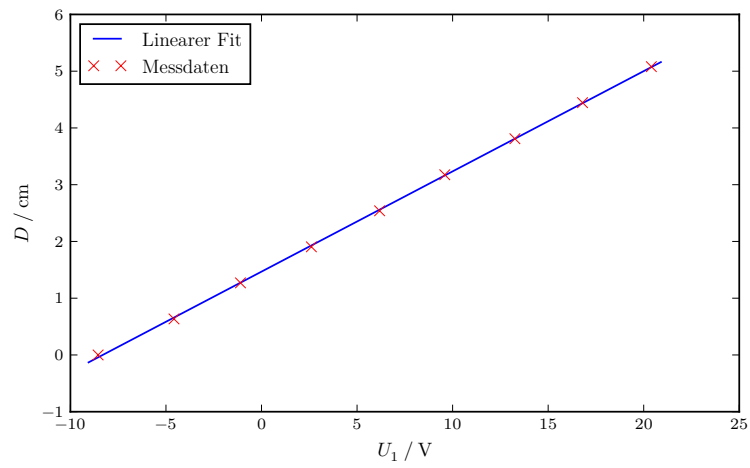


Abbildung 4: Plot zur Bestimmung der Empfindlichkeit bei $U_B = 200 \text{ V}$.

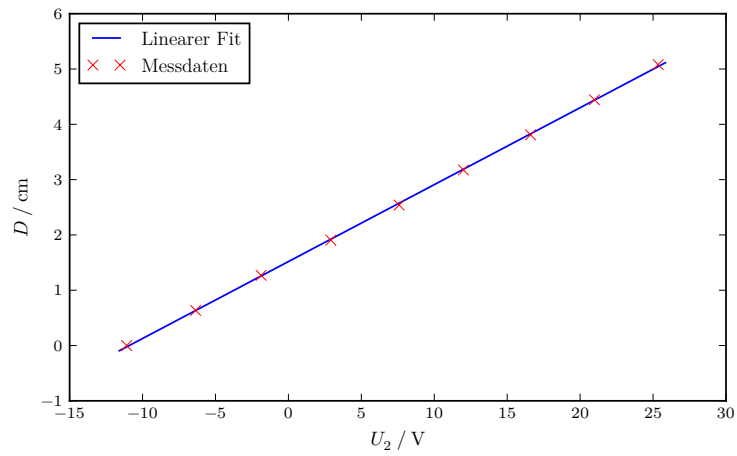


Abbildung 5: Plot zur Bestimmung der Empfindlichkeit bei $U_B = 250 \text{ V}$.

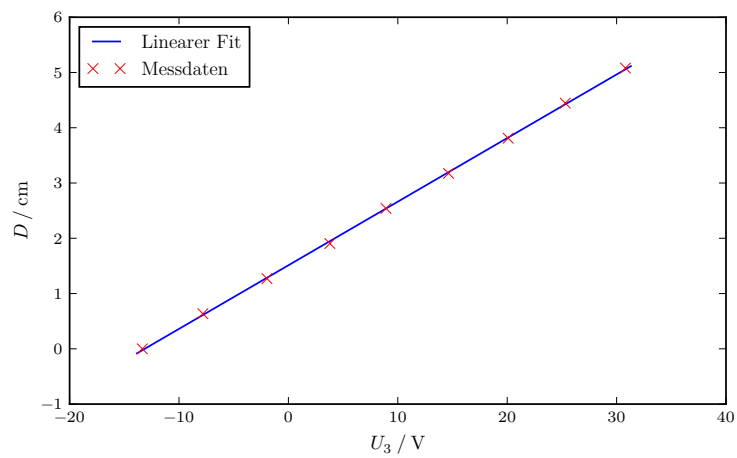


Abbildung 6: Plot zur Bestimmung der Empfindlichkeit bei $U_B = 300 \text{ V}$.

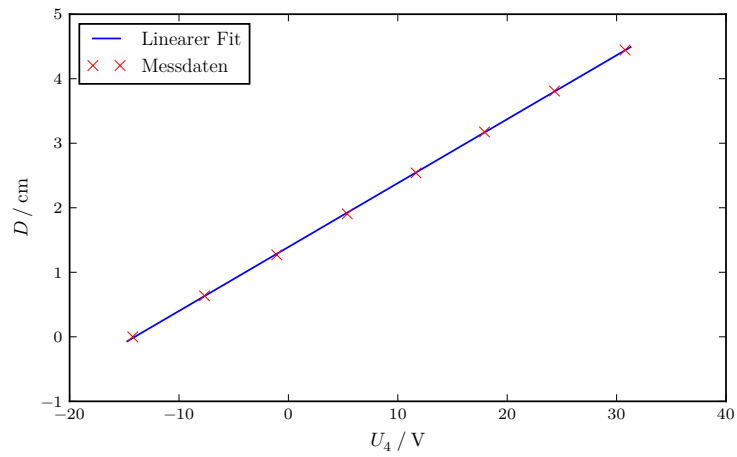


Abbildung 7: Plot zur Bestimmung der Empfindlichkeit bei $U_B = 350 \text{ V}$.

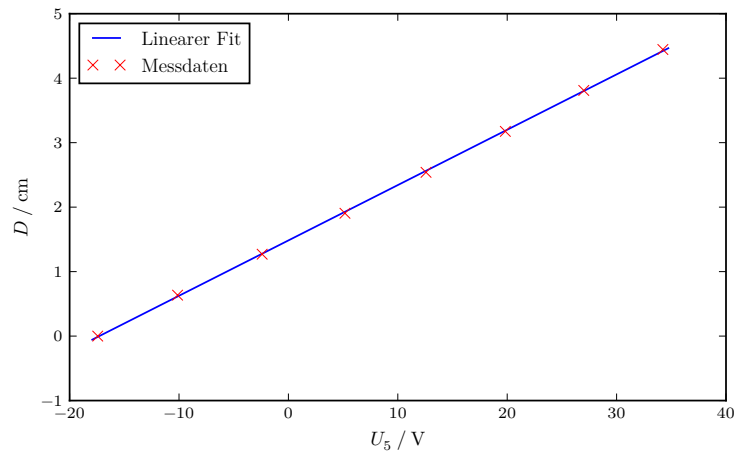


Abbildung 8: Plot zur Bestimmung der Empfindlichkeit bei $U_B = 400 \text{ V}$.

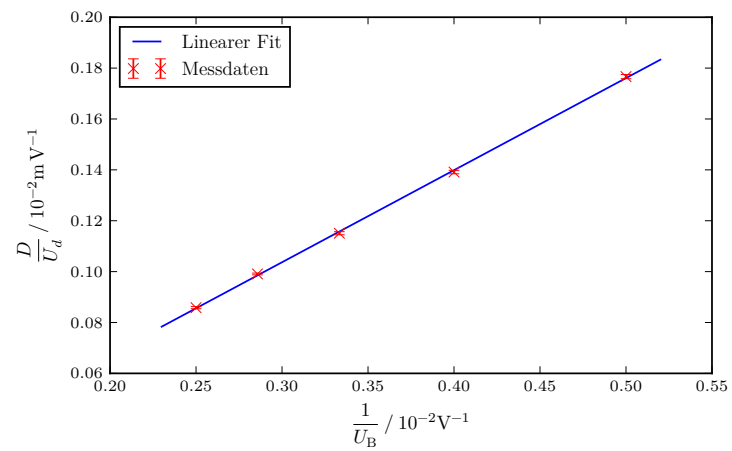


Abbildung 9: Plot zur Ermittlung der Apparaturkonstante.

5.1.2 Untersuchung der Sinusspannung

Bei der Untersuchung der Sinusspannung ergeben sich bei einer Beschleunigungsspannung von $U_b = 400 \text{ V}$ stehende Wellen für die folgenden Sägezahnfrequenzen:

$$\nu_1 = 39,7 \text{ kHz}$$

$$\nu_2 = 79,3 \text{ kHz}$$

$$\nu_3 = 129,3 \text{ kHz}$$

$$\nu_4 = 158,5 \text{ kHz}$$

Es fällt auf, dass man bei einer Interpretation von ν_2 als Grundfrequenz die Zuordnungen

$$2\nu_1 = 79,5 \text{ kHz}$$

$$\nu_2 = 79,3 \text{ kHz} = \nu_{\text{grund}}$$

$$\frac{1}{2}\nu_4 = 79,2 \text{ kHz}$$

treffen kann, so dass die Sinusspannung ν_2 beträgt. Die Frequenz ν_3 wird dabei jedoch ignoriert. Nach Formel (8) ergibt sich für die Grundfrequenz eine dazugehörige Spannungsamplitude von

$$\hat{U} = (7,895 \pm 0,084) \text{ V}.$$

5.2 Ablenkung durch das B-Feld

5.2.1 Bestimmung der spezifischen Elektronenladung

Bei den folgenden Messungen wird eine Helmholtzspule mit den Werten

$$\begin{aligned}\mu_0 &= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N A}^{-2}, \\ N &= 20, \\ R &= 0,282 \text{ m}, \\ L &= 17,5 \text{ cm},\end{aligned}$$

verwendet, wobei N die Windungszahl und R den Radius bezeichnet. Zudem bezeichnet L die Länge der verwendeten Kathodenröhre [4] und μ_0 die magnetische Feldkonstante. Um die spezifische Elektronenladung zu ermitteln, wird, wie in der Durchführung beschrieben, die Ablenkung D in Abhängigkeit von der an der Helmholtzspule angelegten Stromstärke I betrachtet. Die Messergebnisse für die fünf verschiedenen Beschleunigungsspannungen, welche von 250 V bis 450 V in 50 V-Schritten variiert werden, sind in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3: Messdaten zur Bestimmung der Ablenkung im B-Feld.

D / in	I_1 / A	I_2 / A	I_3 / A	I_4 / A	I_5 / A
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	0,28	0,30	0,32	0,35	0,40
0,50	0,58	0,64	0,69	0,74	0,81
0,75	0,89	1,00	1,07	1,14	1,25
1,00	1,19	1,34	1,44	1,56	1,66
1,25	1,52	1,68	1,81	1,94	2,09
1,50	1,84	2,20	2,20	2,34	1,51
1,75	2,18	2,39	2,58	2,75	2,94
2,00	2,49	2,73	2,95	/	/

Die Stärke des Magnetfeldes B , welches auf die Elektronen wirkt, berechnet mithilfe von

$$B = \mu_0 \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{N}{R} I \quad (19)$$

aus der angelegten Stromstärke. Dementsprechend folgen die Messergebnisse für D in Abhängigkeit von B , die in Tabelle 4 angegeben sind.

Zur Ermittlung der Konstante $\frac{e_0}{m_0}$ nach Formel (14) wird für jedes U_b der Wert $\frac{D}{L^2 + D^2}$ gegen B aufgetragen. Zudem wird ein linearer Fit mit SciPy durchgeführt. Die Ergebnisse sind graphisch in den Abbildungen 10 bis 14 dargestellt, die Fitparameter sind in Tabelle 5 angegeben.

Nach Formel (14) ergibt sich aus den Steigungen und den jeweiligen Beschleunigungsspannungen der Wert

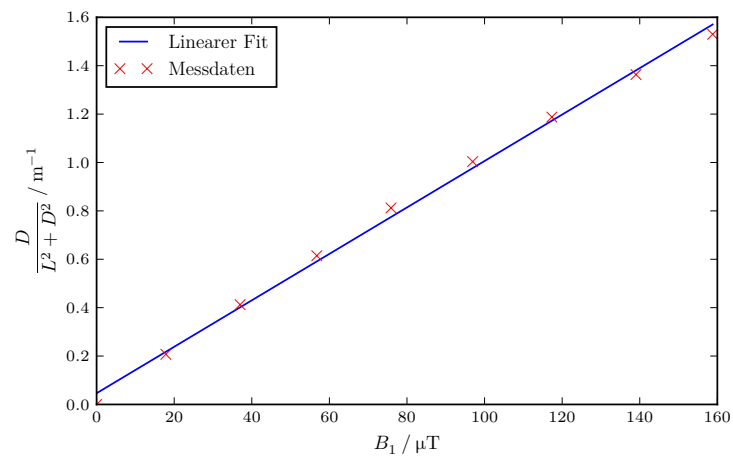
$$\frac{e_0}{m_0} = 8U_b m^2. \quad (20)$$

Tabelle 4: B-Feldstärken.

D / in	$B_1 / \mu\text{T}$	$B_2 / \mu\text{T}$	$B_3 / \mu\text{T}$	$B_4 / \mu\text{T}$	$B_5 / \mu\text{T}$
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	17,86	19,13	20,41	22,32	25,51
0,50	36,99	40,81	44,00	47,19	51,65
0,75	56,76	63,77	68,24	72,70	79,71
1,00	75,89	85,45	91,83	99,48	105,86
1,25	96,93	107,14	115,43	123,72	133,28
1,50	117,34	140,30	140,30	149,23	96,29
1,75	139,02	152,41	164,53	175,37	187,49
2,00	158,79	174,10	188,13	/	/

Tabelle 5: Fitparameter: Steigung m und y-Achsenabschnitt b .

U_b / V	$m / \text{m}^{-1} \text{T}^{-1}$	$\Delta m / \text{m}^{-1} \text{T}^{-1}$	b / m^{-1}	$\Delta b / \text{m}^{-1}$
250	9597,92	207,87	0,05	0,02
300	8585,09	212,44	0,05	0,02
350	8086,01	149,22	0,04	0,02
400	7745,58	128,28	0,03	0,01
450	7275,21	102,05	0,02	0,01

**Abbildung 10:** Plot zur Bestimmung des Proportionalitätsfaktors bei $U_B = 250 \text{ V}$.

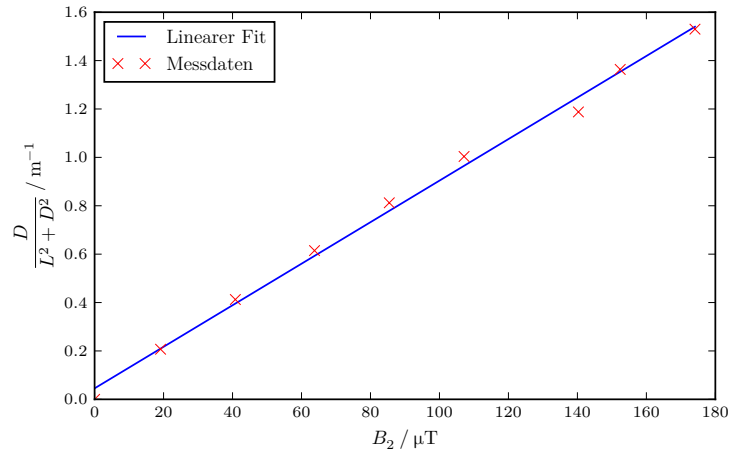


Abbildung 11: Plot zur Bestimmung des Proportionalitätsfaktors bei $U_B = 300 \text{ V}$.

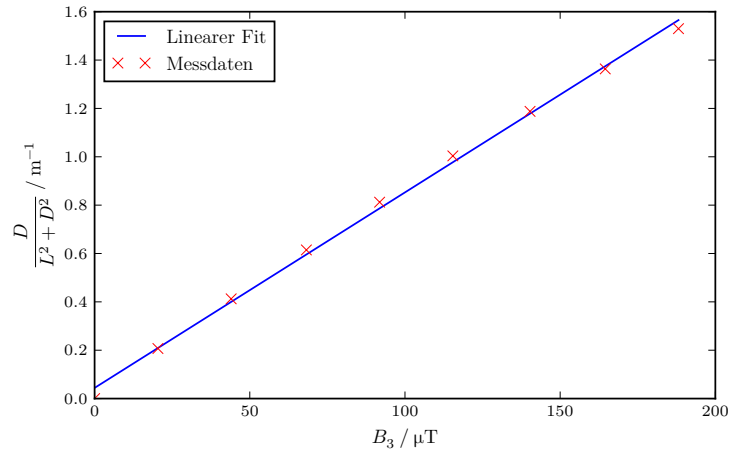


Abbildung 12: Plot zur Bestimmung des Proportionalitätsfaktors bei $U_B = 350 \text{ V}$.

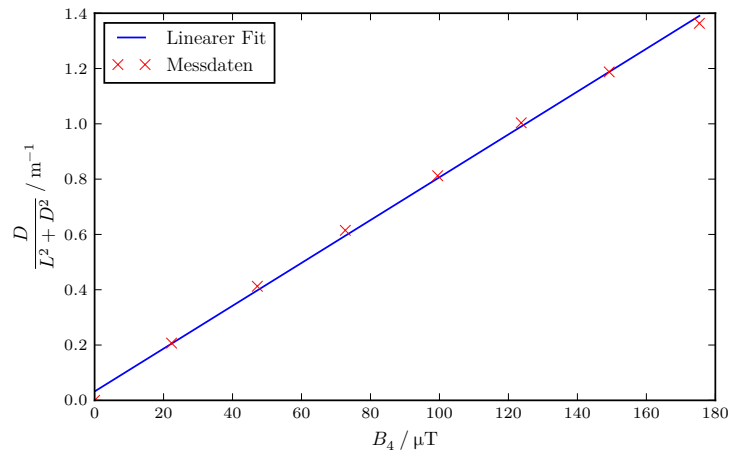


Abbildung 13: Plot zur Bestimmung des Proportionalitätsfaktors bei $U_B = 400 \text{ V}$.

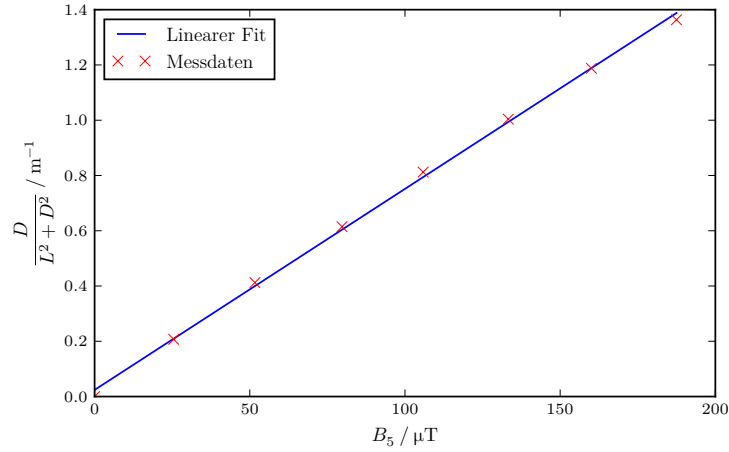


Abbildung 14: Plot zur Bestimmung des Proportionalitätsfaktors bei $U_B = 450 \text{ V}$.

Hieraus folgen für die jeweiligen Messreihen die Werte

$$\begin{aligned} c_1 &= (1,842 \pm 0,080) \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1} \\ c_2 &= (1,769 \pm 0,088) \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1} \\ c_3 &= (1,831 \pm 0,068) \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1} \\ c_4 &= (1,920 \pm 0,064) \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1} \\ c_5 &= (1,905 \pm 0,053) \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1} \end{aligned}$$

sowie gemittelt ein Wert von

$$\frac{e_0}{m_0} = (1,853 \pm 0,055) \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}.$$

5.2.2 Messung der Größe des Erdmagnetfeldes

Zur Messung des Erdmagnetfeldes wird, wie in der Durchführung beschrieben, eine Kompensationsmessung durchgeführt. Dabei ergibt sich, dass bei einem Strom von $I = 0,26 \text{ A}$ das Erdmagnetfeld ausgeglichen wird, was nach Formel (19) einem Magnetfeld von

$$B_{\text{erd}} = 16,58 \mu\text{T}$$

entspricht. Da ein endlicher Inklinationswinkel vorhanden ist, muss dieser zur Bestimmung der effektiven horizontalen Komponente berücksichtigt werden. Dieser wird zu $\phi = 70^\circ$ ermittelt, so dass sich der Wert

$$\frac{B_{\text{erd}}}{\sin(\phi)} = B_{\text{erd,korr}} = 17,64 \mu\text{T}$$

für die effektive Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes ergibt.

6 Diskussion

6.1 Diskussion zum Versuch mit E-Feld

Das Ergebnis zur Messung der Konstante bezüglich der Ablenkung des Elektronenstrahls im elektrischen Feld lautet

$$\frac{pL}{2d} = (0,362 \pm 0,004) \text{ m.}$$

Der exakte Wert für die Konstante der Messapparatur [4] ist

$$\frac{pL}{2d} = 0,358 \text{ m.}$$

Somit ergibt sich erstaunlicherweise eine relativ kleine Abweichung von

$$\Delta \frac{pL}{2d} = 1,24 \%,$$

da eigentlich eine signifikant hohe Abweichung erwartet wird.

Die Frequenz der Sinusspannung wird auf

$$\nu = 79,3 \text{ kHz,}$$

mit einer Amplitude von

$$\hat{U} = (7,895 \pm 0,084) \text{ V}$$

bestimmt. Die dritte gemessene Frequenz von

$$\nu_3 = 129,3 \text{ kHz}$$

wird entfernt, da sich dieser Wert dem beobachtbaren Muster nicht anpasst.

6.2 Diskussion zum Versuch mit B-Feld

Die empirisch bestimmte spezifische Elektronenladung beträgt

$$\frac{e_0}{m_0} = (1,853 \pm 0,055) \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}.$$

Verglichen mit dem Literaturwert [1] von

$$\frac{e_0}{m_0} = 1,7588 \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1},$$

ergibt sich eine relative Abweichung von

$$\Delta \frac{e_0}{m_0} = 5,4 \%.$$

Ein möglicher Grund für die Abweichung kann in einer fehlerhaften Ausrichtung des Versuchsaufbaus liegen. Er ist möglicherweise nicht ganz parallel zum Erdmagnetfeld ausgerichtet. Für die Messung der Erdmagnetfeldstärke ergibt sich der Wert

$$B_{\text{Erde}} = 17,64 \mu\text{T}.$$

Sie sollte nach Literatur [2] ungefähr um den Wert

$$B_{\text{Erde}} = 19,32 \mu\text{T}$$

liegen. Daher sollte es ungefähr richtig bestimmt worden sein.

7 Fotodokumentation - Zwei Semester Anfängerpraktikum

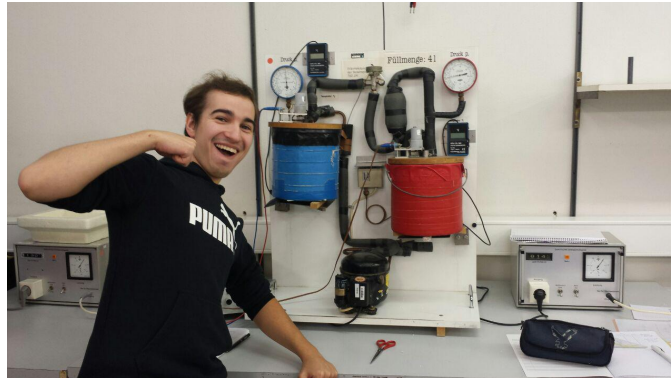


Abbildung 15: Der erste Versuch - Mit voller Motivation an die Wärmepumpe!



Abbildung 16: Professionelle Kühlungsverfahren beim Leslie-Würfel.

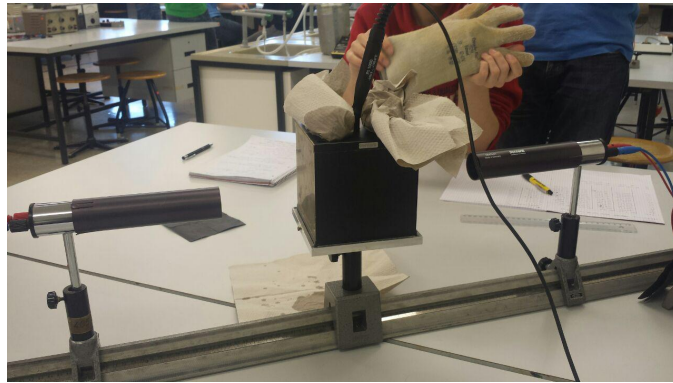


Abbildung 17: Professionelle Kühlungsverfahren beim Leslie-Würfel.

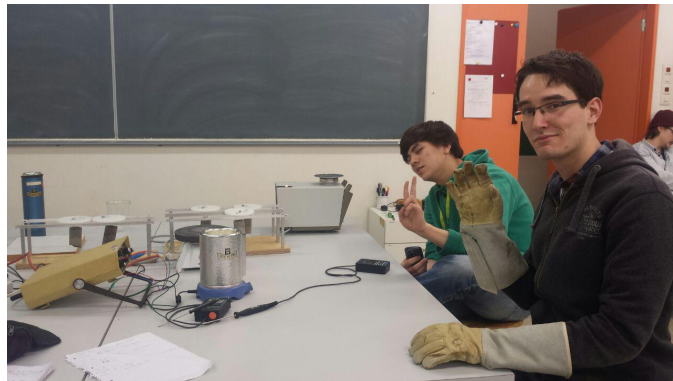


Abbildung 18: Unsere ständigen Begleiter - Hier beim Dulong-Petite Gesetz. Der erste Versuch, bei dem wir komplett verzweifelt sind...



Abbildung 19: ... aber am Ende ist doch alles gut ausgegangen.

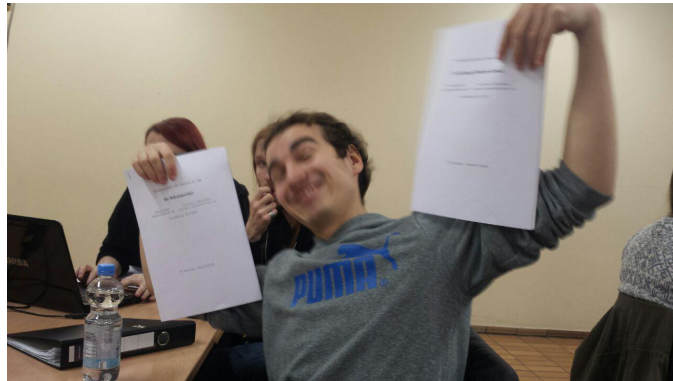


Abbildung 20: Voller Stolz: Die ersten Abgaben!

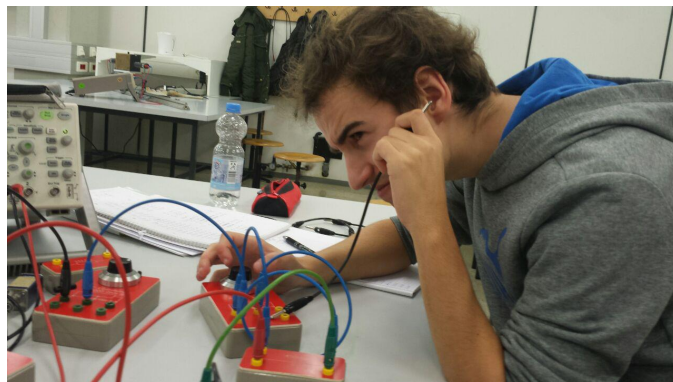


Abbildung 21: Auch das korrekte Messen von Spannungen will gelernt sein.



Abbildung 22: Auch das korrekte Messen von Spannungen will gelernt sein.

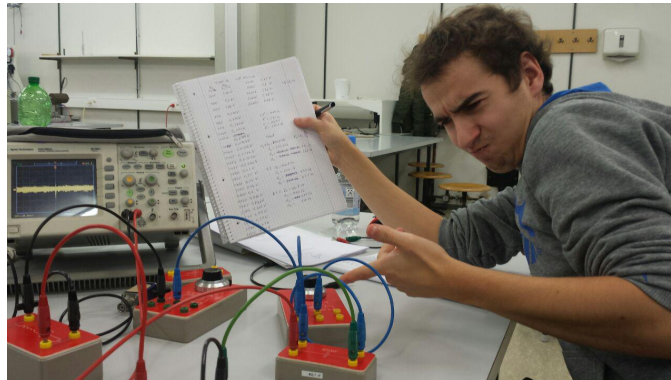


Abbildung 23: Und auch wenn mal nicht sofort was geklappt hat bei den Elektronikversuchen: Der Brückenschaltungsmann war immer zur Stelle.

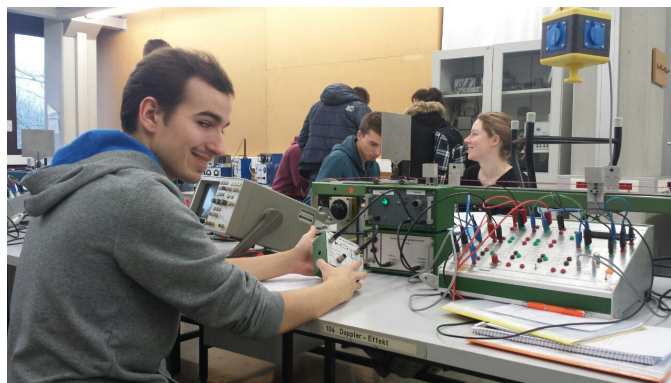


Abbildung 24: Der Gleichrichter und Tiefpass beim Doppler-Effekt.



Abbildung 25: Professionelle Dokumentation der Puppen bei den Trägheitsmomenten.



Abbildung 26: Professionelles Vermessen der Puppen bei den Trägheitsmomenten.

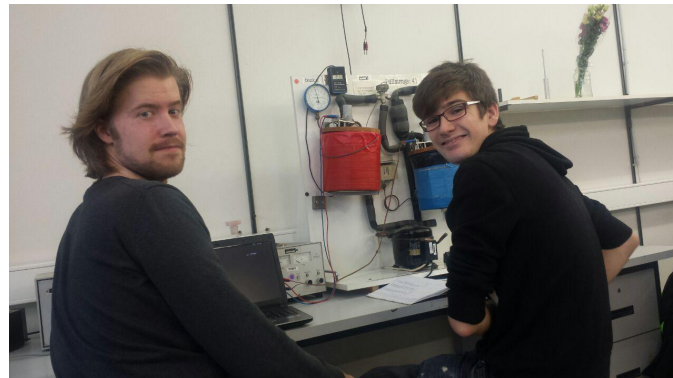


Abbildung 27: Ebenfalls treue Begleiter: Das Praktikumsduo AP-MaMa in Form von Marius und Matthias.

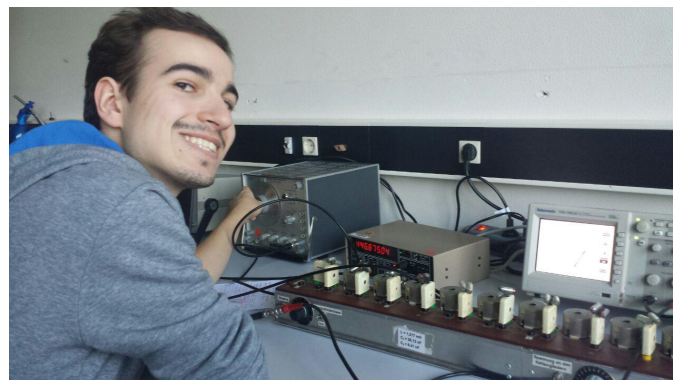


Abbildung 28: Und natürlich der legendäre Ebberg-Raum mit V355 und V356!



Abbildung 29: Ahhhhhhhhh! Ultraschall!



Abbildung 30: Geschmacksprobe der verwendeten Gase beim Michelson Interferrometer!



Abbildung 31: Safety first bei den Kernversuchen.



Abbildung 32: Pure Verzweiflung bei den Dispersionsmessungen...

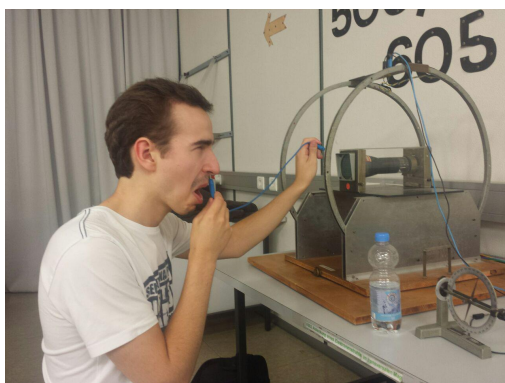


Abbildung 33: Messen von Stromstärken: Gelernt im dritten Semester.

8 Nachwort

So schnell gehen zwei Semester Anfängerpraktikum um. Nach meinem schnellen Versprechen, die Versuche möglichst umfangreich zu Dokumentieren und am Ende in einer Fotocollage zusammenzufassen, wurde dies nun in die Tat umgesetzt. Zu sagen bleibt noch ein großer Dank meinerseits an meinen Praktikumpartner Johannes. Auf dich war immer Verlass, auch wenn ich selber mal verhindert war oder weniger Zeit hatte. Zudem war das Praktikum niemals langweilig, wie man gut an den Fotos sehen konnte! Vielen Dank!

Jean-Marco Alameddine

Literatur

- [1] *CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants*. Nov. 2015. URL: <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>.
- [2] *IGRF-Deklinationsrechner*. <http://www.gfz-potsdam.de/deklinationsrechner/>. Juli 2016.
- [3] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.15.1. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [4] *TU Dortmund - Fachbereich Physik : Anfängerpraktikum Anleitung zu Versuch Nr. 501*. <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V501.pdf>. Juli 2016.

- [5] *TU Dortmund - Fachbereich Physik : Anfängerpraktikum Anleitung zu Versuch Nr. 502.*
<http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V502.pdf>. Juli 2016.