

Physikalisches Grundlagenpraktikum

Versuch: _____

Versuchsdatum: _____

Gruppennummer: _____

Studierende:	
Name/Matr. Nr./E-Mail:	_____
Name/Matr. Nr./E-Mail:	_____
Name/Matr. Nr./E-Mail:	_____
Name/Matr. Nr./E-Mail:	_____

Studiengang:	<input type="checkbox"/> EIT <input type="checkbox"/> Energy Science <input type="checkbox"/> ISE <input type="checkbox"/> Maschinenbau <input type="checkbox"/> Medizintechnik <input type="checkbox"/> Nanoengineering <input type="checkbox"/> Physik <input type="checkbox"/> Wirtschaftsingenieurwesen
---------------------	--

Betreuer:	_____
Betreuer E-Mail:	_____

Eingang (Datum): _____

1. Rücksprache (Datum): _____

2. Rücksprache (Datum): _____

Testat erteilt (Datum): _____

1. Einführung

Im Versuch B8 spezifische Ladung wird das konstante Verhältnis von Elektronenladung und Elektronenmasse an Hand eines Kräftegleichgewichts verifiziert und bestimmt.

Hierzu werden Elektronen durch Glühemission erzeugt, indem sie durch Erwärmung die Austrittsarbeit aus dem metallischen Kathodenmaterial überwinden. Ein Maß hierfür gibt die Richardson Gleichung:

$$n = C T^2 e^{-\frac{W_A}{k_B T}}$$

n =austretende Elektronen, C =wie oft kommt ein Elektron an die Oberfläche (Richardson Parameter), W_A =Austrittsarbeit, k_B =Boltzmannfaktor

Anschließend werden sie zur Anode hin beschleunigt. Es ergibt sich aus der Energieerhaltung

$$\frac{1}{2} m v^2 = e U$$

m =Elektronenmasse, v =Geschwindigkeit des Elektrons, e =Ladung, U =Beschleunigungsspannung

Damit erhält man eine erste Gleichung für Masse und Ladung

Um nun eine Möglichkeit zu bekommen diese Elektronen zu untersuchen und ihre Eigenschaften wie Geschwindigkeit, und das Verhältnis von Ladung und Masse zu bestimmen, nutzt man die Eigenschaften eines Kräftegleichgewichtes, indem man die Elektronen auf eine Kreisbahn bringt (dem Prototypen für ein Kräftegleichgewicht: Zentripetalkraft = Zentrifugalkraft). Die ideale Kraft dazu ist die Lorentzkraft, die auf ein geladenes bewegtes Teilchen in einem angelegten Magnetfeld wirkt.

$$\vec{F}_L = -e(\vec{v} \times \vec{B})$$

Ist das Magnetfeld homogen über den gesamten Bereich auf den es auf das Elektron einwirkt, ist die Lorentzkraft äquivalent zu einer Zentrifugalkraft. Durch das Kreuzprodukt wird deutlich, dass Sie keine tangentielle Kraft auf das Elektron ausüben kann und somit den Betrag der Geschwindigkeit nicht ändert.

Daraus folgt für das Kräftegleichgewicht der Kreisbahn:

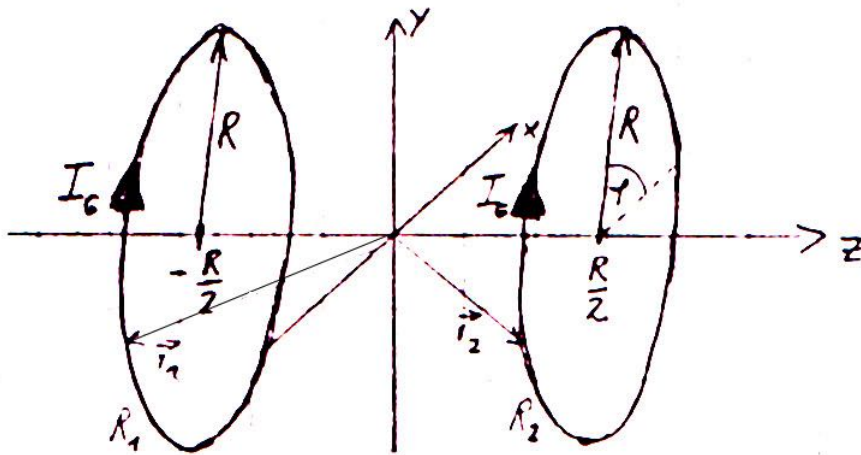
$$e v B = m \frac{v^2}{r}$$

Damit ergibt sich eine Gleichung für e/m :

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

Dass man den Elektronenstrahl auf seiner Kreisbahn überhaupt beobachten kann, liegt zum einen daran, dass er durch einen sogenannten Wehneltzylinder fokussiert wird. Dieser Zylinder ist im Wesentlichen ein rundes Blech vor dem Anoden Gitter mit einer geringen entgegen gerichteten Fokussierspannung, das die Elektronen bündelt. (Siehe Abb. 2) Das blaue Leuchten im Zylinder wird durch Stoßionisation angeregtes H_2 -Gas hervorgerufen. Hierbei löst ein Elektron des Kreises ein Elektron des H_2 aus seiner Schale und es kommt beim Einfangen eines Elektrons zur Emission des blauen Lichtes des H_2 -Moleküls (gelb-orange bei Ne-Gas; anderer Aufbau).

Bleibt nur noch die Größe des Magnetfeldes zu klären, dass wie schon erwähnt für die Kreisbahn homogen sein muss und daher von sogenannten Helmholtzspulen erzeugt wird. Die Herleitung des B-Feldes erfolgt mit Hilfe des Biot-Savart'schen Gesetzes, das das Feld um einen beliebigen Strom durchflossenen Leiter beschreibt.



$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0 I_G}{4\pi} \left[\oint_R ds_1 \times \frac{\vec{r} - \vec{r}_1}{|\vec{r} - \vec{r}_1|^3} + \oint_R ds_2 \times \frac{\vec{r} - \vec{r}_2}{|\vec{r} - \vec{r}_2|^3} \right]$$

mit

$$\vec{r}_1 = \left(R \cos \varphi, R \sin \varphi, -\frac{R}{2} \right)$$

$$\vec{r}_2 = \left(R \cos \varphi, R \sin \varphi, \frac{R}{2} \right)$$

$$|\vec{r}_1| = |\vec{r}_2| = \sqrt{R^2 + \left(\frac{R}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{5}}{2} R$$

$$ds_i = R d\varphi \vec{e}_\varphi$$

$$I_G = nI$$

↳ Windungen

$$\Rightarrow |\vec{B}(0)| = \frac{\mu_0 n I}{4\pi} \left| \int_0^{2\pi} \frac{\vec{r}_1 + \vec{r}_2}{|\vec{r}_1|^3} \times R \vec{e}_\varphi d\varphi \right|$$

$$= \frac{\mu_0 n I}{4\pi} \frac{2R^2}{\left(\frac{\sqrt{5}}{2} R\right)^3} \left| \int_0^{2\pi} \begin{pmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \\ 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} -\sin \varphi \\ \cos \varphi \\ 0 \end{pmatrix} d\varphi \right|$$

folgt B an der Stelle des Ursprungs:

$$\vec{B}(0) = \frac{8\mu_0 n I}{\pi \sqrt{5}^3 R}$$

und e/m:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2} \frac{5^3 R^2}{\pi 64 \mu_0^2 n^2 I^2} = \frac{125}{32} \frac{UR^2}{\pi \mu_0^2 n^2 r^2 I^2}$$

2. Versuchsaufbau

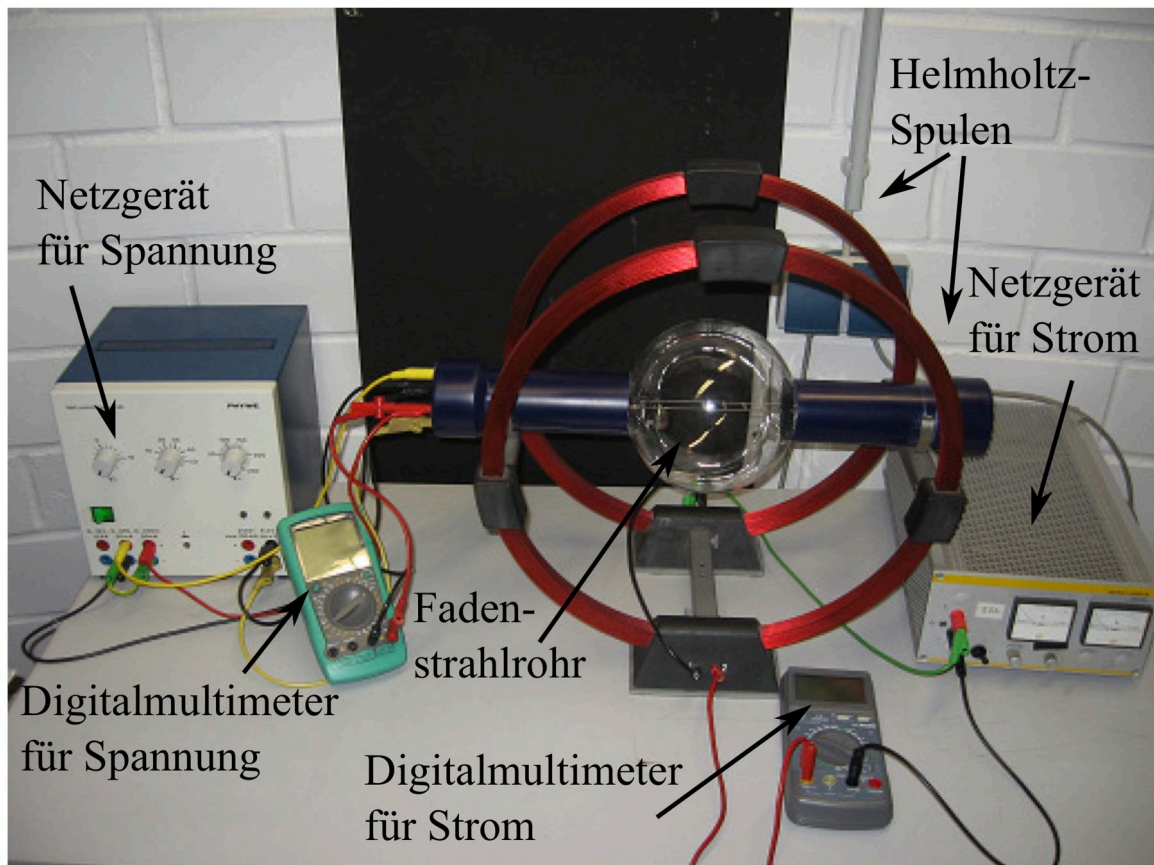


Abb. 1: Versuchsaufbau

Kern des Aufbaus bildet das Fadenstrahlrohr. Dieses besteht unter anderem aus einer mit Gas geringen Druckes gefüllten Glaskugel, in der sich die Elektronenquelle befindet.

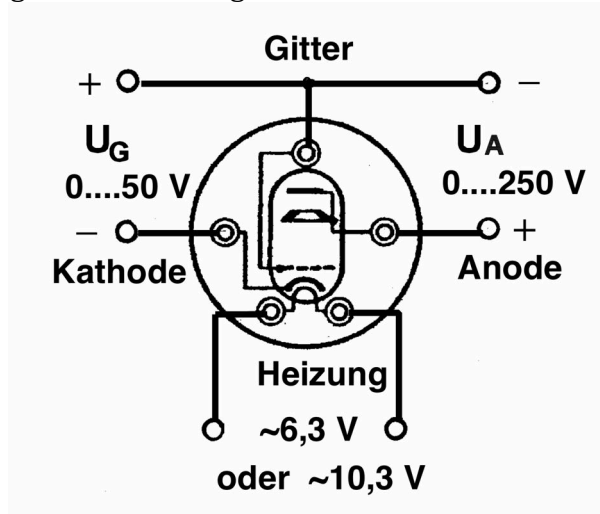


Abb. 2: Elektronenquelle (aus Anleitung)

Diese erzeugt durch thermisch induzierte Elektronenemission und anschließende Beschleunigung (siehe Vorne) den für den Versuch notwendigen Elektronenstrahl. Die Kugel enthält ein Füllgas (in unserem Fall H_2), durch Stoßionisation wird wie schon gesagt

der Verlauf der Elektronen sichtbar. In der Glaskugel sind Messmarken angebracht, die sich im Abstand von 4, 6, 8 und 10 cm zur Elektronenquelle befinden. An der Stirnfläche der Röhre (linke Seite in Abb. 1) befinden sich Anschlussbuchsen für die Stromversorgung des Fadenstrahlrohrs. Am mit den Anschlüssen verbundenen Netzgerät kann die Gleichspannung für die Anodenspannung und die Gitterspannung, sowie die Wechselspannung für die Kathodenheizung eingestellt werden. Die Anoden- und die Gitterspannung bilden zusammen die Beschleunigungsspannung für die freien Elektronen. Diese entstehen durch das Heizen der Kathode. Die Höhe der Beschleunigungsspannung kann am Voltmeter abgelesen werden, welches zwischen Anode und Kathode geschaltet ist. Verkabelung nach Schema von Abb. 2. Das Fadenstrahlrohr befindet sich zwischen zwei kreisrunden Helmholtz-Spulen (Abb. 1). Diese sind in Reihe geschaltet und werden über die rechts im Bild zu sehende Gleichstromquelle versorgt. Die Stromstärke kann am zwischengeschalteten Amperemeter abgelesen werden. Zwischen den Spulen entsteht ein homogenes Magnetfeld, welches die mit gleichmäßiger Geschwindigkeit fliegenden Elektronen auf eine Kreisbahn lenkt.

3. Versuchsdurchführung

Zu Beginn des Versuches muss die Verkabelung zwischen den einzelnen Geräten erfolgen. Um die angelegte Spannung und den Strom zu messen, werden zwei Digitalmultimeter verwendet (vergleiche Abb. 1,2). Für die Messung der Spannung greift das Digitalmultimeter die Spannung zwischen der Glühkathode und dem Netzgerät ab, während bei der Messung des Stromes das Digitalmultimeter in den Stromkreis mit eingebracht wird. Bei der Verkabelung für den Strom sei darauf zu achten, dass die Richtung des Stromkreises, die Feldlinienrichtungen des Magnetfeldes bestimmen. Sodass gewährleistet ist, dass am Ende der Elektronenstrahl in die gewünschte Richtung abgelenkt wird.

Nach der Prüfung der Schaltung durch den Versuchsbetreuer und dem Verstreichen der Aufheizzeit für die Glühkathode kann durch Aufdrehen der Anoden- und der Gitterspannung ein Elektronenstrahl erzeugt werden. Durch die richtige Wahl der Wehnelt Spannung können wir die Schärfe und Helligkeit des Strahls erhöhen und diesen somit besser sehen, dem gleichen Zweck dient das Verdunkeln des Laborraums. Zur eigentlichen Bestimmung der Radien über die fluoreszierenden Gitter ist die Verdunkelung und das leuchtende Gas nicht zwingend erforderlich.

Der Versuch wird mit vier verschiedenen Beschleunigungsspannungen mit den Werten 150 V, 200 V, 250 V und 300 V durchgeführt. Für jeden dieser Werte wird die Stärke des Magnetfeldes durch Regeln der Stromstärke an der Gleichstromquelle so eingestellt, dass die Kreisbahn des Elektronenstrahl nach der Hälfte der Bahn eine der vier Messmarken des oben erwähnten Gitters bei 4, 6, 8, 10 cm schneidet. Je höher die Spannung eingestellt wird, desto stärker muss das Magnetfeld werden, um den Radius der entsprechenden Kreisbahn zu erhalten. Die Bahn des Elektronenstrahls wird jeweils viermal auf einen der vier durch die Messmarken vorgegebenen Kreisbahnen eingestellt und jedes mal wird die eingestellte Spannung und Stromstärke notiert. Somit werden insgesamt 64 Messwerte für den Spulenstrom, von denen jeweils vier bei gleicher Beschleunigungsspannung und gleichem Radius aufgenommen werden, ermittelt. Aus diesen wird in der Auswertung der Mittelwert gebildet, so dass 16 Werte für die spezifische Ladung des Elektrons berechnet werden können.

4. Auswertung

4.1 Berechnung von e/m

Durch die nun aufgenommenen Messwerte soll die spezifische Ladung ermittelt werden. Dazu wird, wie aus der Theorie bereits bekannt, die folgende Gleichung verwendet:

$$\frac{e}{m} = \frac{125}{32} \left(\frac{R}{\mu_0 n} \right)^2 \frac{U}{(Ir)^2}$$

$$= 4.172 \times 10 \frac{m^4 A^2}{V^2 s^2} \frac{U}{(Ir)^2}$$

Für das Beispiel von der angelegten Spannung von 150V, dem Radius von 0.02m und der Stromstärke von 3.05A wird hier die spezifische Ladung bestimmt zu:

$$e/m = 1.68 \times 10^{11} \text{ C/kg}$$

Alle Berechnungen für e/m in der folgenden Tabelle wurden analog durchgeführt.

Der Mittelwert von e/m ist $\sum \left(\frac{e}{m} \right)_{ri} / 4$

Der Prozentuale Fehler zum Literaturwert von $1.759 \times 10^{11} \text{ C/kg}$ (Walcher Praktikum der Physik) ist in der letzten Spalte gegeben.

Messtabelle mit Auswertung aus Excel importiert

U (V)	r (m)	I (A)	e/m (C/kg)	Konstante ($m^4 A^2 / (V^2 s^2)$)	Mittelwert e/m (C/kg)	Literatur e/m (C/kg)	e/m-lit (%)
150	0.02	3.05	1.68E+11	4.17E+06	1.63E+11	1.76E+11	-7.27015
150	0.03	1.95	1.83E+11	4.17E+06	1.85E+11	1.76E+11	5.317968
150	0.04	1.36	2.11E+11	4.17E+06	2.06E+11	1.76E+11	17.22381
150	0.05	1.08	2.15E+11	4.17E+06	2.15E+11	1.76E+11	22.00628
150	0.02	3.13	1.60E+11	4.17E+06			
150	0.03	1.93	1.87E+11	4.17E+06			
150	0.04	1.4	2.00E+11	4.17E+06			
150	0.05	1.08	2.15E+11	4.17E+06			
150	0.02	3.12	1.61E+11	4.17E+06			
150	0.03	1.92	1.89E+11	4.17E+06			
150	0.04	1.38	2.05E+11	4.17E+06			
150	0.05	1.08	2.15E+11	4.17E+06			
150	0.02	3.09	1.64E+11	4.17E+06			
150	0.03	1.95	1.83E+11	4.17E+06			
150	0.04	1.37	2.08E+11	4.17E+06			
150	0.05	1.08	2.15E+11	4.17E+06			
200	0.02	3.48	1.72E+11	4.17E+06	1.70E+11	1.76E+11	-3.31193
200	0.03	2.28	1.78E+11	4.17E+06	1.78E+11	1.76E+11	1.410594
200	0.04	1.66	1.89E+11	4.17E+06	1.87E+11	1.76E+11	6.316886
200	0.05	1.33	1.89E+11	4.17E+06	1.92E+11	1.76E+11	9.324775
200	0.02	3.49	1.71E+11	4.17E+06			
200	0.03	2.31	1.74E+11	4.17E+06			

U (V)	r (m)	I (A)	e/m (C/kg)	Konstante (m ⁴ A ² /(V ² s ²))	Mittelwert e/m (C/kg)	Literatur e/m (C/kg)	e/m-lit (%)
200	0.04	1.66	1.89E+11	4.17E+06			
200	0.05	1.31	1.94E+11	4.17E+06			
200	0.02	3.49	1.71E+11	4.17E+06			
200	0.03	2.26	1.82E+11	4.17E+06			
200	0.04	1.68	1.85E+11	4.17E+06			
200	0.05	1.31	1.94E+11	4.17E+06			
200	0.02	3.55	1.66E+11	4.17E+06			
200	0.03	2.27	1.80E+11	4.17E+06			
200	0.04	1.68	1.85E+11	4.17E+06			
200	0.05	1.32	1.92E+11	4.17E+06			
250	0.02	3.94	1.68E+11	4.17E+06	1.69E+11	1.76E+11	-3.89812
250	0.03	2.58	1.74E+11	4.17E+06	1.79E+11	1.76E+11	1.560281
250	0.04	1.91	1.79E+11	4.17E+06	1.83E+11	1.76E+11	4.036476
250	0.05	1.48	1.90E+11	4.17E+06	1.90E+11	1.76E+11	7.919549
250	0.02	3.93	1.69E+11	4.17E+06			
250	0.03	2.55	1.78E+11	4.17E+06			
250	0.04	1.88	1.84E+11	4.17E+06			
250	0.05	1.49	1.88E+11	4.17E+06			
250	0.02	3.92	1.70E+11	4.17E+06			
250	0.03	2.56	1.77E+11	4.17E+06			
250	0.04	1.88	1.84E+11	4.17E+06			
250	0.05	1.48	1.90E+11	4.17E+06			
250	0.02	3.92	1.70E+11	4.17E+06			
250	0.03	2.5	1.85E+11	4.17E+06			
250	0.04	1.88	1.84E+11	4.17E+06			
250	0.05	1.48	1.90E+11	4.17E+06			
300	0.02	4.31	1.68E+11	4.17E+06	1.67E+11	1.76E+11	-4.89637
300	0.03	2.82	1.75E+11	4.17E+06	1.75E+11	1.76E+11	-0.40429
300	0.04	2.08	1.81E+11	4.17E+06	1.81E+11	1.76E+11	2.794084
300	0.05	1.65	1.84E+11	4.17E+06	1.83E+11	1.76E+11	3.914368
300	0.02	4.35	1.65E+11	4.17E+06			
300	0.03	2.83	1.74E+11	4.17E+06			
300	0.04	2.08	1.81E+11	4.17E+06			
300	0.05	1.66	1.82E+11	4.17E+06			
300	0.02	4.3	1.69E+11	4.17E+06			
300	0.03	2.81	1.76E+11	4.17E+06			
300	0.04	2.07	1.83E+11	4.17E+06			
300	0.05	1.65	1.84E+11	4.17E+06			
300	0.02	4.34	1.66E+11	4.17E+06			
300	0.03	2.81	1.76E+11	4.17E+06			
300	0.04	2.09	1.79E+11	4.17E+06			
300	0.05	1.66	1.82E+11	4.17E+06			

5. Diskussion der Ergebnisse

Aus der obigen Tabelle und deren graphischen Darstellung in Abb. 3 ergibt sich, dass die Ergebnisse für e/m im Rahmen der statistischen Genauigkeit keine Konstante ergeben und dass der Fehler vom Radius und der Spannung abhängig ist. Daher macht auch eine Größtfehlerabschätzung bei den hier erzielten Messergebnissen keinen Sinn.

Es zeigt sich, dass die spezifische Ladung in diesem Versuch mit dem Radius ansteigt. Dabei fällt auf, dass der Wert zum kleinsten Radius (2cm) immer kleiner ist als der Literaturwert und danach bis zu größeren Werten als dem Literaturwert ansteigt. Diese beiden Abweichungen lassen sich zum einen dadurch erklären, dass beim 2cm Radius keine Kreisbahn sondern eher eine Ellipse vorliegt und damit die Bedingungen für ein Kräftegleichgewicht und eine konstante Geschwindigkeit nicht mehr gegeben sind und zum Anderen, dass bei größer werdendem Radius die Feldhomogenität nicht mehr gewährleistet ist obwohl der Radius der Helmholtzspulen 20cm beträgt.

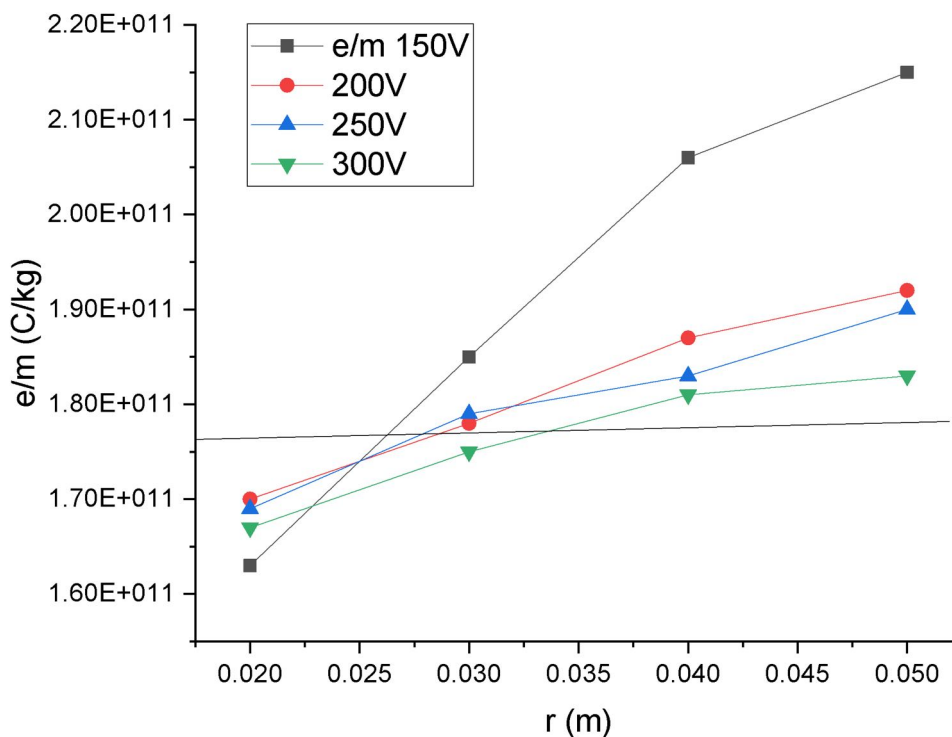


Abb. 3: Darstellung von e/m in Abhängigkeit des Radius und der Beschleunigungsspannung (unterschiedliche Symbole).

Des Weiteren zeigt Abb. 3 dass gerade bei 150V Beschleunigungsspannung der Fehler im Radius erheblich größer ausfällt als bei den anderen Beschleunigungsspannungen. Dies lässt sich auf eine zu große Anzahl erzeugter Elektronen zurückführen deren Raumladung bei 150V anscheinend noch nicht vollständig abgezogen werden kann. Der Fehler bei den höheren Spannungen ist signifikant kleiner und ändert sich kaum noch. Vermutlich ist die Kathode schon so angegriffen, dass sie bei gleicher Leistung signifikant wärmer wird und damit zu mehr Glühemission führt. Insgesamt kann man sagen, dass wenn man 150V außen vor lässt der prozentuale Fehler unter 10% liegt und wenn man über alle Radien mittelt unter 3% landet.