

TU Dortmund

V701 - Reichweite von α -Strahlung

Markus Stabrin
markus.stabrin@tu-dortmund.de

Kevin Heinicke
kevin.heinicke@tu-dortmund.de

Versuchsdatum: 21. Mai 2013

Abgabedatum: 18. Juni 2013

1 Einleitung

α -Teilchen geben in Materie Energie durch elastische Stöße, aber auch Anregungs- und Dissoziationsprozesse ab. In diesem Versuch soll nun bestimmt werden, welche Reichweite die α -Strahlung in Luft bei verschiedenen Luftdrücken besitzt.

2 Theorie

2.1 α -Strahlung

α -Strahlung ist eine der drei Strahlungen, welche beim radioaktiven Zerfall instabiler Atomkerne auftritt. Dabei sinkt die Kernladungszahl des Atoms und ein Heliumkern, die α -Strahlung, wird emittiert.

2.2 Reichweite von α -Strahlung

Neben elastischen Stößen und Ionisationsprozessen können α -Teilchen ihre Energie auch durch Anregung oder Dissoziaion von Molekülen verlieren. Der Energieverlust pro Strecke ist dabei von der Energie der Strahlung und der Dichte des durchlaufenden Materials ab.

Für hinreichend große Energien lässt sich dies durch die Bethe-Bloch-Gleichung beschreiben, da bei niedrigen Energien Ladungsaustauschprozesse vermehrt auftauchen:

$$-\frac{dE_\alpha}{dx} = \frac{z^2 e^4}{4\pi\epsilon_0 m_e} \frac{nZ}{v^2} \ln\left(\frac{2m_e v^2}{I}\right) \quad (1)$$

dabei ist z die Ladung und v die Geschwindigkeit der α -Strahlung. Z ist die Ordnungszahl, n die Teilchendichte und I die Ionisierungsenergie des Targetgases.

Die Reichweite R lässt sich nun schreiben als:

$$R = \int_0^{E_0} \frac{dE_\alpha}{-\frac{dE_\alpha}{dx}} \quad (2)$$

Bei α -Strahlung in Luft mit Energien von $E_\alpha \leq 2,5$ MeV gilt:

$$R_m = 3.1 \cdot E_\alpha^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

In Gasen bei konstanter Temperatur und konstantem Volumen ist die Reichweite von α -Teilchen proportional zum Druck p . Daher kann durch variieren des Drucks p eine Absorptionsmessung gemacht werden. Es gilt für einen festen Abstand x_0 zwischen Detektor und α -Strahler:

$$x = x_0 \frac{p}{1013 \text{ mbar}} \quad (4)$$

2.3 Halbleiter-Sperrschichtzähler

Zwischen einer p- und einer n-dotierten Halbleiterschicht bildet sich eine Ladungsfreie Zone aus. Durch das Anlegen einer Spannung in Sperrrichtung wird diese vergrößert.

Dringt nun ein ionisierendes Teilchen in diese Zone ein, werden Paare von Elektronen und Löchern erzeugt.

Löcher werden durch das starke elektrische Feld in dieser Zone in die p-dotierte, Elektronen in die n-dotierte Schicht gezogen.

Diese führen zu einem Stromimpuls. Je größer die Energie der einfliegenden Teilchen ist, desto mehr Elektornen-Loch-Paare werden erzeugt. Somit ist das gemessene Signal propotional zur Energie des Teilchens.

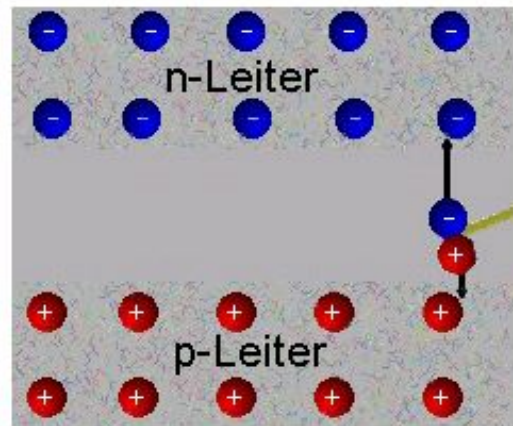


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Halbleitersperrschichtzählers [2].

2.4 Diskriminatorschwelle

Die Diskriminatorschwelle beurteilt einen Meßwert. Dieser wird mit einem Schwellenwert verglichen und wenn dieser darüber liegt wird dieser gemessen. Ansonsten wird dieser verworfen.

3 Versuchsaufbau und Durchführung

3.1 Versuchsaufbau

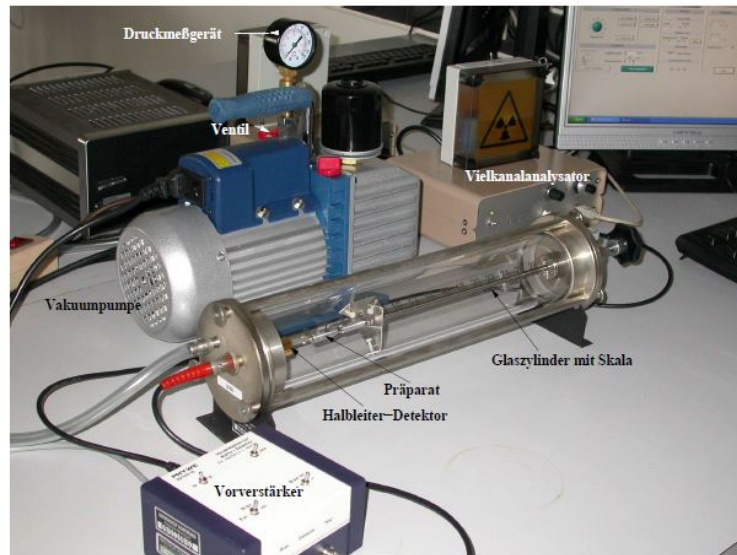


Abbildung 2: Versuchsaufbau des Experiments [1].

Das Experiment wird nach Abb. 2 aufgebaut.

In dem evakuierten Glaszylinder befindet sich ein α -Strahler, ein Am-Präparat, und ein Detektor.

Der Abstand zwischen Detektor und Präparat kann über einen verschiebbaren Halter an dem Präparat reguliert werden.

Der Detektor ist ein Halbleiter-Sperrschichtzähler, welcher in Abschnitt 2.3 beschrieben wurde.

Der entstehende Impuls wird durch einen Vorverstärker verstärkt und einen Vielkanalanalysator entsprechend seiner Pulshöhe analysiert.

Die Daten werden am Computer von dem Programm Multichannel Analyzer verarbeitet. Der Schalter bei der Regelung der Meßzeit unten links wird auf AUTO und unter der Schalter im Programm unter MCA STATUS auf connected gestellt.

Nun müssen die Diskriminatorschwelle am Vielkanalanalysator eingestellt werden. Dazu wird der Abstand Quelle-Detektor auf ein Maximum gestellt und der Abstand so verringert, bis der MCA anfängt zu zählen.

3.2 Durchführung

3.2.1 Zählrate als Funktion des Drucks

Zunächst wird der Druck in dem Glaszylinder mit Hilfe einer Vakuumpumpe auf etwa 0 mbar herabgesenkt.

Nun wird eine Messung über 120 s durchgeführt.

Bis 400 mbar wird der Druck in 100 mbar-Schritten, von 400 mbar bis Normaldruck in 50 mbar-Schritten variiert und für jeden Druck eine Messung durchgeführt.

Anschließend wird der Abstand um wenige Millimeter vergrößert und die Messung wiederholt.

3.3 Statistik des Zählrohrs

Bei etwa 0 mbar und dem ersten Abstand aus der vorigen Messung werden 150 Messungen mit einer Meßzeit von etwa 10 s durchgeführt.

Die gemessenen Werte werden in einem Histogramm mit geschickt gewählter Breite ΔN aufgetragen und das Ergebnis mit einer Poisson- und einer Gaußverteilung verglichen.

4 Auswertung

Im Folgenden werden einige Mittelwerte gebildet. Bei einer Anzahl von n Messwerten x_i gilt für den Mittelwert x :

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i .$$

Die Varianz σ_x dieses Wertes, bzw. dessen Fehler Δx betragen

$$\Delta x^2 = \sigma_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^n (x_i - x)^2 .$$

4.1 Bestimmung der mittleren Reichweite R_m mit der entsprechenden Energie E_m

Zur Ermittlung der mittleren Reichweite R_m wird die Zählrate z gegen die effektive Länge x_{eff} aufgetragen. Durch die abfallende Flanke (siehe Abbildungen 3 und 4) wird eine lineare Ausgleichsgerade der Form $z(x) = mx + b$ gelegt. Die mittlere Reichweite R_m entspricht der x-Koordinate dieser Ausgleichsgerade an der Stelle der halben, maximalen Zählrate z_{max} .

Es gilt also

$$R_m = \frac{\frac{z_{\text{max}}}{2} - b}{m} .$$

Die maximale Energie E , die bei einer Messung detektiert wird, ist proportional zum gemessenen Kanal c . Mit Kenntnis der Energie E_{max} bei einer bestimmten Länge x_{eff} lassen sich somit alle Energiewerte berechnen.

Die Messwerte der beiden Messungen sind in den Tabellen 1 und 2 aufgeführt. Die Werte, die zur Ausgleichsrechnung benutzt werden, sind farbig **rot** markiert.

Die Ausgleichsrechnung durch *python* der ersten Messreihe bei $x_{0,2} = 2,6 \text{ cm}$ liefert

$$m_1 = (-1120 \pm 8) \frac{1}{\text{s cm}} \quad , \quad b_1 = (2657 \pm 16) \frac{1}{\text{s}} \\ \Rightarrow R_{m,1} = (2,13 \pm 0,02) \text{ cm} \quad , \quad E_{m,1} = (3,78 \pm 0,07) \text{ MeV} ,$$

sowie bei $x_{0,1} = 2,8 \text{ cm}$

$$m_2 = (-1115 \pm 60) \frac{1}{\text{s cm}} \quad , \quad b_2 = (2648 \pm 129) \frac{1}{\text{s}} \\ \Rightarrow R_{m,2} = (2,14 \pm 0,16) \text{ cm} \quad , \quad E_{m,2} = (3,77 \pm 0,04) \text{ MeV} .$$

Die Abbildungen 3 und 4 beinhalten die entsprechenden Kurven dieser Messung.

Tabelle 1: Messwerte bei Basislänge $x_{0,1}$ und einer Messzeit $T = 120 \text{ s}$

$p[\text{mbar}]$	Counts	$z \left[\frac{1}{\text{s}} \right]$	Channel c	$E[\text{MeV}]$
0	64 755	539,63	2336	4,000
100	63 966	533,05	2112	3,616
200	63 083	525,69	2047	3,505
300	62 009	516,74	1835	3,142
400	60 962	508,02	1691	2,896
450	60 035	500,29	1631	2,793
500	59 706	497,55	1536	2,630
550	58 693	489,11	1491	2,553
600	57 238	476,98	1391	2,382
650	55 828	465,23	1295	2,217
700	53 848	448,73	1023	1,752
750	50 700	422,50	984	1,685
800	42 840	357,00	844	1,445
850	25 797	214,97	727	1,245
900	8352	69,60	655	1,122
950	2920	24,33	652	1,116
1000	53	0,44	678	1,161

Tabelle 2: Messwerte bei Basislänge $x_{0,2}$ und einer Messzeit $T = 120$ s

$p[\text{mbar}]$	Counts	$z \left[\frac{1}{\text{s}} \right]$	Channel c	$E[\text{MeV}]$
0	64 243	535,36	2319	4,000
100	64 005	533,38	2112	3,643
200	62 870	523,92	1999	3,448
300	61 075	508,96	1839	3,172
400	60 439	503,66	1711	2,951
450	60 471	503,93	1583	2,730
500	58 985	491,54	1543	2,661
550	57 953	482,94	1431	2,468
600	57 250	477,08	1359	2,344
650	55 154	459,62	1276	2,201
700	53 891	449,09	1103	1,903
750	49 951	416,26	1023	1,765
800	42 639	355,32	762	1,314
850	27 054	225,45	655	1,130
900	8309	69,24	652	1,125
950	2838	23,65	664	1,145
1000	49	0,41	723	1,247

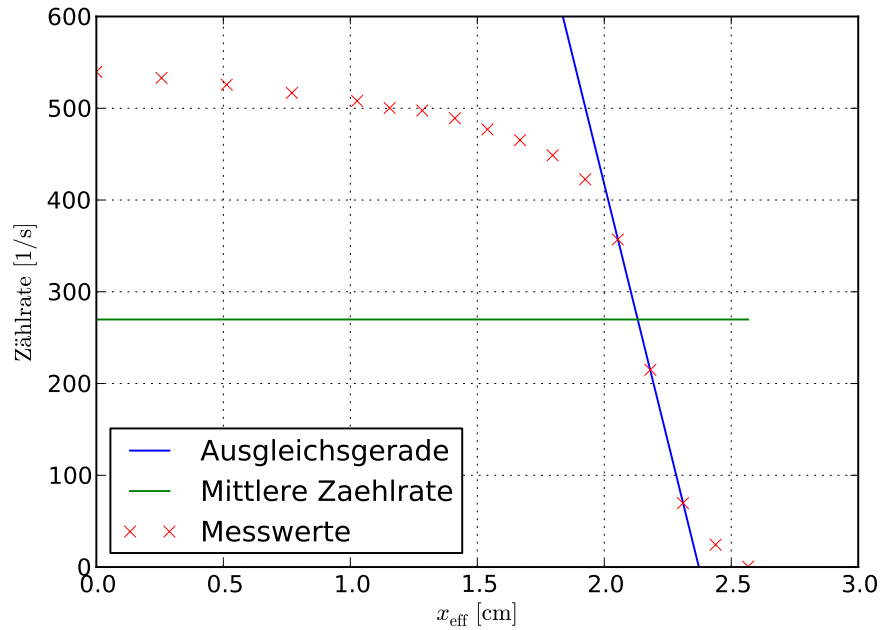


Abbildung 3: Graph zur Bestimmung der mittleren Reichweite R_m bei Basislänge $x_{0,1}$

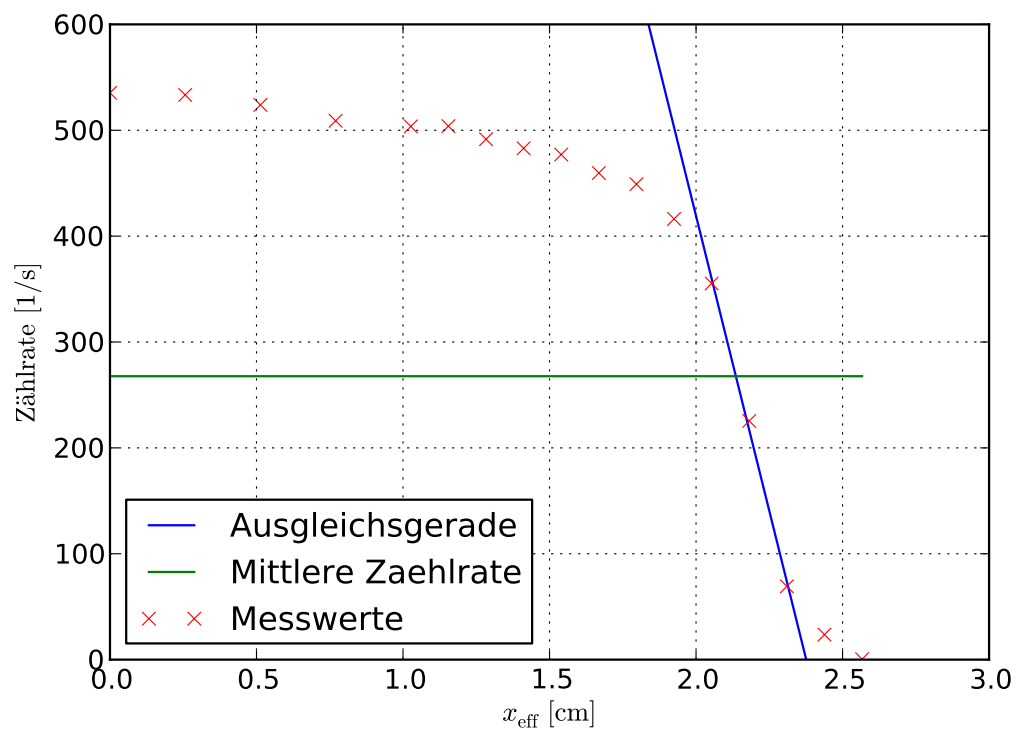


Abbildung 4: Graph zur Bestimmung der mittleren Reichweite R_m bei Basislänge $x_{0,2}$

4.2 Energieverlust $-\mathrm{d}E$ pro Weg $\mathrm{d}x$

Trägt man die in Tabellen 1 und 2 aufgeführten Energien E gegen die effektive Länge x_{eff} auf, lässt sich der Energieverlust $-\mathrm{d}E/\mathrm{d}x$ durch eine lineare Ausgleichsgerade der Form $E(x) = mx + b$ bestimmen. Die Steigung m entspricht hierbei dem Energieverlust $\mathrm{d}E/\mathrm{d}x$.

Die Ausgleichsrechnung durch *python* liefert

$$-\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}x} = (1,109\,44 \pm 0,006\,06) \frac{\text{MeV}}{\text{cm}}$$

für die Messung bei der Basislänge $x_{0,1}$ und

$$-\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}x} = (1,109\,38 \pm 0,003\,35) \frac{\text{MeV}}{\text{cm}}$$

für die Messung bei der Basislänge $x_{0,1}$.

Die entsprechenden Graphen sind in Abbildung 5 und 6 dargestellt. Die zur Ausgleichsrechnung benutzten Messwerte sind in Tabellen 1 und 2 **blau** gekennzeichnet.

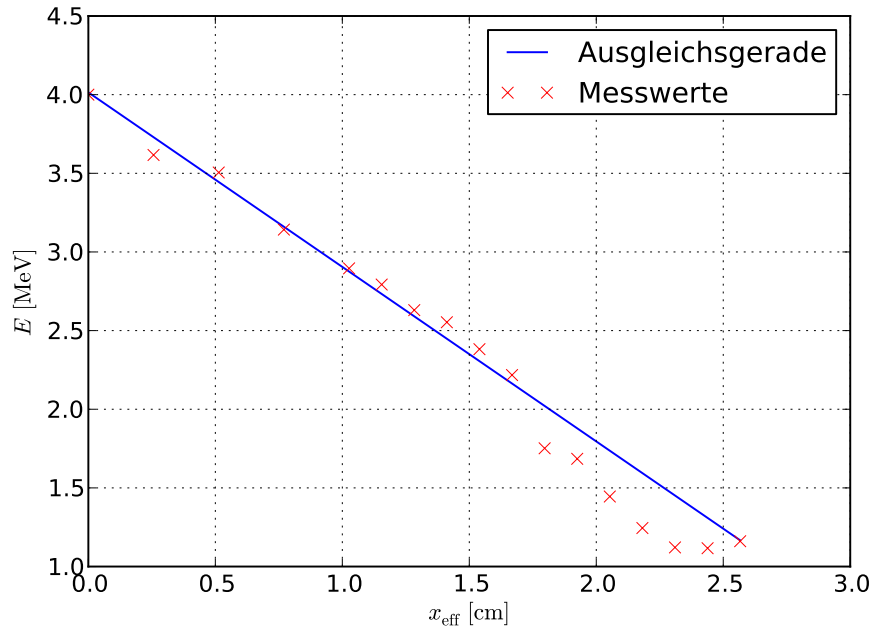


Abbildung 5: Lineare Ausgleichsgerade für Energie E und Länge x_{eff} bei einer Basislänge von $x_{0,1}$

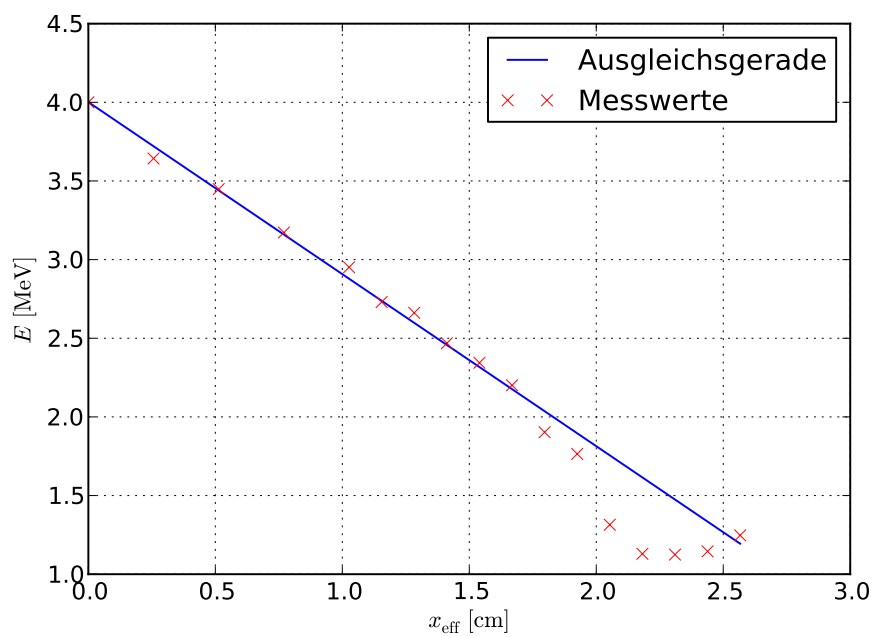


Abbildung 6: Lineare Ausgleichsgerade für Energie E und Länge x_{eff} bei einer Basislänge von $x_{0,1}$

4.3 Statistik des radioaktiven Zerfalls

Tabelle 3 enthält die Zählraten dieser Messung. Die Messwerte sind im Anhang aufgeführt. Es wurde jeweils über $T = 10$ s gemessen. Zur Erstellung eines Histogramms wurde die Größe ΔN der Häufigkeitsbereiche auf

$$\Delta N = 9,75$$

festgelegt. Hierdurch erhält man acht Bereiche, in denen Zerfälle gemessen werden. Der Erwartungswert \bar{z} , sowie die Varianz σ_z betragen

$$\begin{aligned}\bar{z} &= 506,613 \frac{1}{\text{s}}, \\ \sigma_z &= 290,672 \frac{1}{\text{s}}.\end{aligned}$$

Die Abbildungen 7 und 8 beinhalten die Histogramme mitsamt einer Gausskurve, bzw. einer Poissonverteilung.

Tabelle 3: Messwerte zur Ermittlung der Statistik des radioaktiven Zerfalls

$z \quad \left[\frac{1}{\text{s}} \right]$									
522,1	507,0	494,0	513,6	512,2	475,3	480,3	527,8	504,5	523,9
494,0	508,0	493,3	473,1	490,5	476,2	513,8	507,5	510,4	518,9
508,4	500,4	522,1	522,2	505,2	498,5	488,8	491,9	535,1	500,7
503,4	501,2	540,2	529,4	527,1	546,4	530,9	495,3	485,1	499,5
538,1	512,0	517,3	506,3	510,9	487,5	536,0	513,7	517,6	507,8
523,1	491,8	517,6	520,1	520,2	517,8	477,0	491,1	497,7	524,8
523,3	525,1	488,3	491,9	521,1	524,1	516,7	480,3	481,2	520,7
529,8	479,6	541,0	489,8	493,1	523,9	490,1	505,1	507,1	538,1
517,4	483,0	517,0	472,6	534,2	540,2	535,0	527,0	498,0	485,0
494,0	503,7	509,1	518,3	488,5	486,0	518,9	522,2	499,9	494,0
492,2	502,8	503,2	526,4	525,5	495,7	528,6	485,2	513,7	504,2
520,9	487,5	494,6	485,2	483,7	493,1	501,8	481,2	499,4	517,5
505,3	534,8	500,6	504,8	522,8	527,5	505,7	485,9	490,5	498,8
518,5	508,0	496,4	488,3	494,2	512,9	514,8	498,2	508,6	510,4
488,4	526,5	507,7	498,7	506,1	481,5	489,2	485,3	518,5	499,7

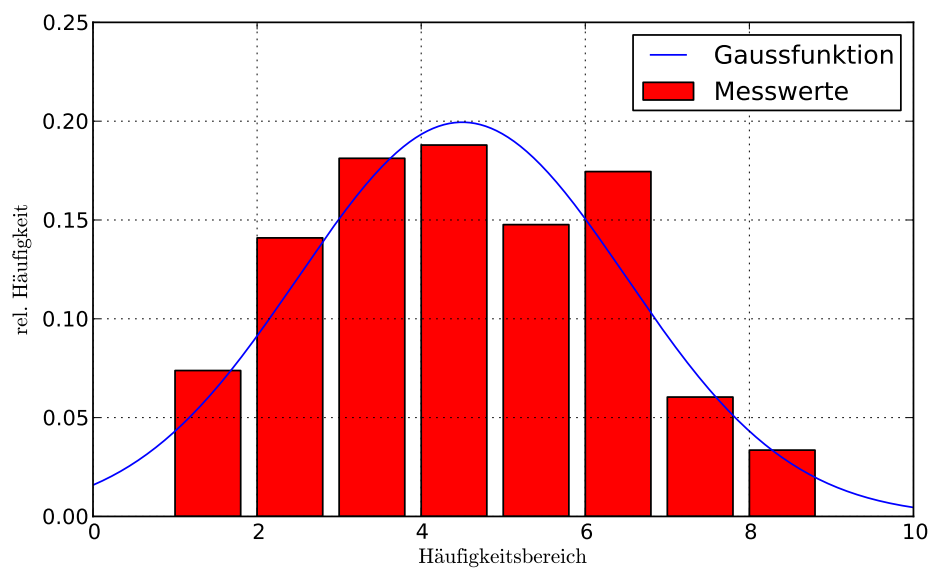


Abbildung 7: Statistik des radioaktiven Zerfalls in Gegenüberstellung zur Gausskurve

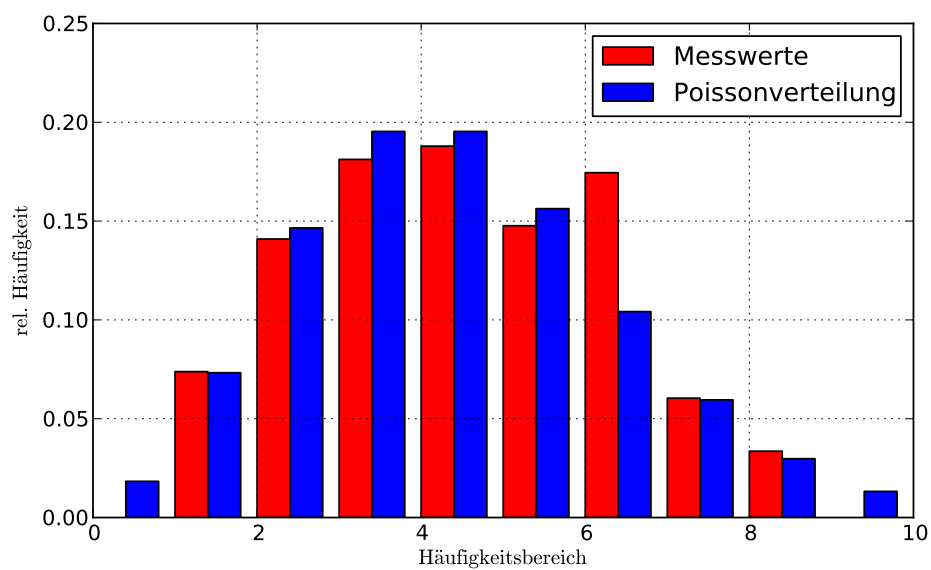


Abbildung 8: Statistik des radioaktiven Zerfalls in Gegenüberstellung zur Poissonverteilung

5 Diskussion

Die hier bestimmten mittleren Reichweiten

$$R_{m,1} = (2,13 \pm 0,02) \text{ cm}$$

$$R_{m,2} = (2,14 \pm 0,16) \text{ cm}$$

stimmen unter Berücksichtigung des Fehlers überein. Das deutet auf eine relativ gute Bestimmung dieses Wertes hin. Für eine belastbare Aussage wurden jedoch zu wenig Messungen durchgeführt.

Dies trifft auch auf die Werte der Energieabnahme $-dE/dx$ zu. Unter Berücksichtigung der Fehler stimmen sie ebenfalls überein.

Der Vergleich des Histogrammes mit der Gauß- bzw. Poissonverteilung (siehe Abbildungen 7 und 8) passt in beiden Fällen recht gut. Der hier Ermittelte Wert in Bereich 6 fällt lediglich aus dem Rahmen. Zudem ist festzuhalten, dass das Histogramm stark von der Wahl der Bereichsbreite ΔN abhängt. Bei kleinerer Breite ΔN sind die einzelnen Werte des Histogramms in der Nähe des Erwartungswertes starken Schwankungen unterzogen. Hier hätte der Datenumfang wesentlich größer sein müssen.

Bei größeren Breiten ΔN verringert sich die Balkenzahl so sehr, dass sie nur noch schlecht mit einer Gaußkurve oder Poissonverteilung verglichen werden kann.

Literatur

- [1] Physikalisches Anfängerpraktikum der TU Dortmund: Versuch V701 - Reichweite von alpha-Strahlung. <http://129.217.224.2/HOME/PAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V701.pdf>. Stand: Juni 2013.
- [2] http://erlangen.physicsmasterclasses.org/exp_detek/exp_detek_09.html