

701

## Reichweite von $\alpha$ -Strahlung

Fabian Koch  
fabian3.koch@udo.edu

Tom Rosenstein  
tom.rosenstein@udo.edu

Durchführung: 17.04.18

Abgabe: 24.04.18

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>5</b>
4.1	Bestimmung der mittleren Reichweite von $\alpha$ -Strahlung . . . . .	5
4.2	Bestimmung des Energieverlustes von $\alpha$ -Strahlung . . . . .	8
4.3	Bestimmung der Statistik des radioaktiven Zerfalls . . . . .	11
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>13</b>
	<b>Literatur</b>	<b>13</b>

## 1 Zielsetzung

Bei diesem Versuch soll die Reichweite der Alphastrahlung eines Americium Präparates durch Messungen in einer Vakuumröhre bestimmt werden.

## 2 Theorie

Die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung lässt sich über den Energieverlust der Teilchen berechnen. Die Hauptverlustquellen für die  $\alpha$ -Teilchen stellen dabei Ionisationsprozesse, sowie die Anregung und Dissoziation von Molekülen dar. Der Energieverlust der Teilchen ist dabei proportional zu der Energie der  $\alpha$ -Teilchen und die Dichte des durchlaufenden Materials. Bei hohen Energien wird die Bethe-Bloch-Gleichung für den Energieverlust benötigt. Ist die Energie der  $\alpha$ -Teilchen, wie in diesem Versuch, allerdings zu gering, so muss die Reichweite durch empirische Kurven ermittelt werden. Grund hierfür ist, dass bei niedrigeren Energien vermehrt Ladungsaustauschprozesse auftreten und die Bethe-Bloch-Gleichung ihre Gültigkeit verliert. Es handelt sich daher um die mittlere Reichweite, d.h. die Reichweite, die die Hälfte der  $\alpha$ -Teilchen noch erreichen. Bei Energien der  $\alpha$ -Strahlung in Luft gilt folgende Beziehung:

$$R_m = 3.1 \cdot E_\alpha^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

wobei die mittlere Reichweite in Millimetern und die Energie in MeV eingesetzt werden. Wird die Temperatur und das Volumen des Gases konstant gehalten, so ergibt sich für die Energie ein Ausdruck, welcher proportional zum Druck  $p$  ist. Es ergibt sich dann für die effektive Länge für den atmosphärischen Druck  $p_0 = 1013 \text{ mbar}$ :

$$x = x_0 \frac{p}{p_0} \quad (2)$$

## 3 Durchführung

Der Versuchsaufbau erfolgt gemäß Abbildung 1. Dabei wird an die Glasröhre, welche den  $\alpha$ -Strahler Americium 241 und einen Halbleiter-Sperrschicht Detektor beinhaltet, die Vakuumpumpe sowie ein Vorverstärker mitsamt Vielkanalanalysator angeschlossen. Letzterer ist an einen Computer angeschlossen auf welchem mit Hilfe der Software Multichannel Analyzer (MCA) die erhaltenen Daten ausgewertet werden. Zu Beginn des Versuches wird der Glaszylinder evakuiert und der Strahler auf eine Distanz von circa 15 Centimetern geschoben. Dann wird der Diskriminator so eingestellt, dass mit MCA keine Counts mehr gemessen werden. So werden Störsignale, bei denen es sich nicht um  $\alpha$ -Strahlung handelt rausgefiltert. Nun wird der Strahler auf die gewünschte Messdistanz geschoben und zunächst bei evakuiertem Zylinder mit MCA 120 Sekunden lang gemessen. Die Position des Energiemaximus und die Counts werden dann notiert. Nun wird der Druck hochgeregelt, und bei jedem Druck wird wieder für 120 Sekunden gemessen und die Daten aufgenommen. Bei Erreichen des atmosphärischen Druckes ist die Messung

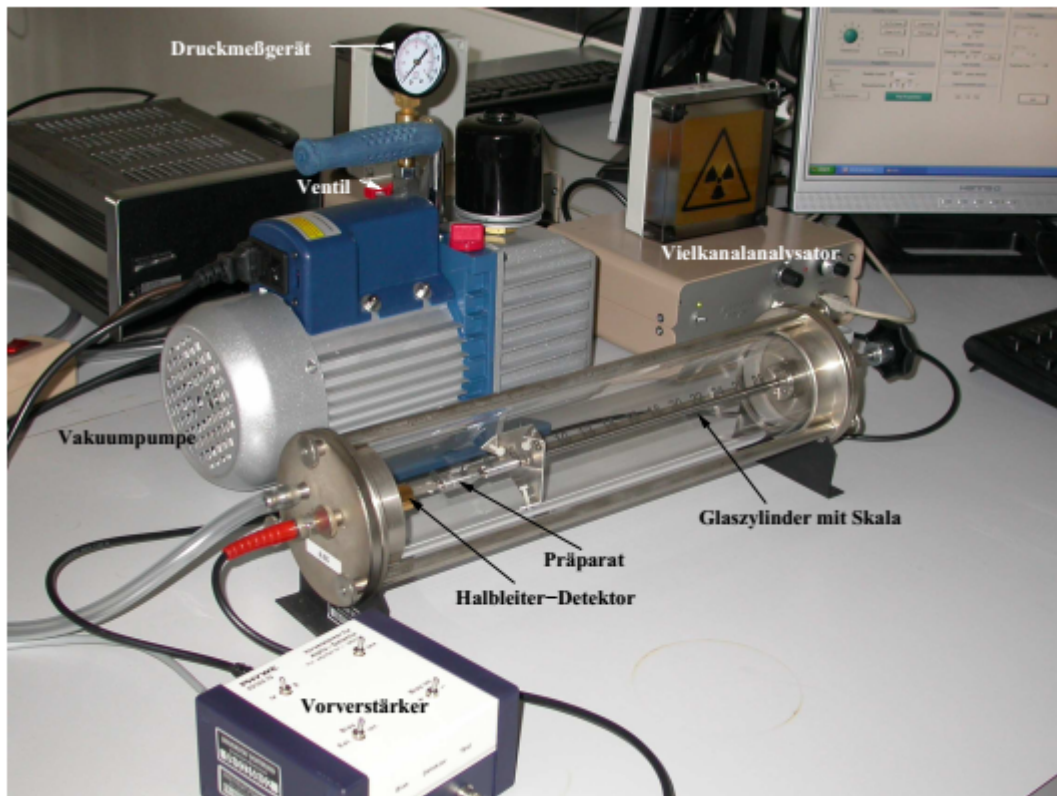


Abbildung 1: Allgemeiner Versuchsaufbau [1].

beendet. Dieser Vorgang wird nun für einen zweiten Abstand wiederholt. Zuletzt wird noch die Statistik des radioaktiven Zerfalls gemessen, indem der Zylinder evakuiert wird, eine Messzeit von zehn Sekunden eingestellt wird und 100 mal gemessen wird. Bei dieser Messung werden nur die Counts notiert.

## 4 Auswertung

### 4.1 Bestimmung der mittleren Reichweite von $\alpha$ -Strahlung

Um die Reichweite der  $\alpha$ -Strahlung bestimmen zu können wird zunächst die Energie der  $\alpha$ -Teilchen benötigt. Diese können aus der Position der Kanäle des Energiemaximums bestimmt werden. Die Energie ist bei 0 mbar mit 4,0 MeV maximal. Durch Anwendung des Dreisatzes lässt sich folgende Gleichung herleiten:

$$E = 4 \cdot \frac{k_p}{k_0} \cdot \text{MeV} \quad \text{mit } k \equiv \text{Kanalnummer}$$

Damit wird die Energie der  $\alpha$ -Teilchen bestimmt. Die effektive Länge wird mit Gleichung 2 bestimmt. Die Ergebnisse der Messungen für 25 mm können Tabelle 1, die für 5 mm Tabelle 2 entnommen werden.

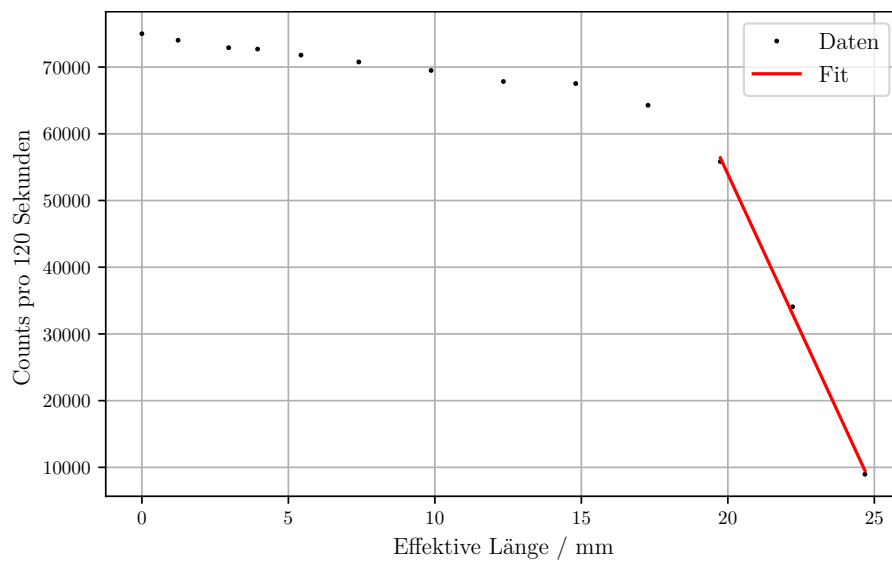
**Tabelle 1:** Messwerte für 25 Millimeter Abstand

Druck / mbar	Effektive Länge / mm	Counts pro 120 s	Kanalnummer	Energie / MeV
0	0,00	75000	1199	4,00
50	1,23	74024	1127	3,76
120	2,96	72906	1078	3,60
160	3,95	72697	1035	3,45
220	5,43	71795	985	3,29
300	7,40	70766	925	3,09
400	9,87	69496	846	2,82
500	12,34	67839	770	2,57
600	14,81	67532	703	2,35
700	17,28	64271	594	1,98
800	19,74	55844	224	0,75
900	22,21	34068	352	1,17
1000	24,68	8969	347	1,16

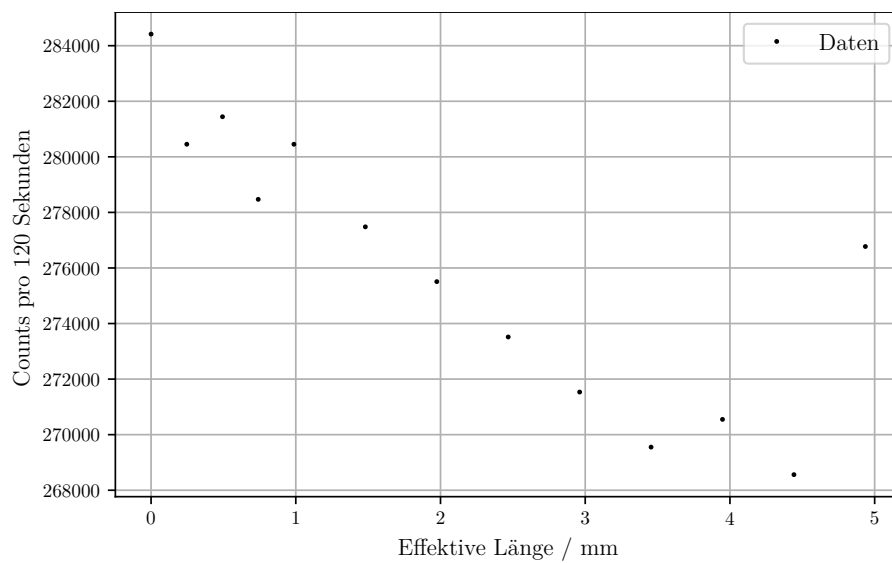
**Tabelle 2:** 5 Millimeter Abstand

Druck / mbar	Effektive Länge / mm	Counts pro 120 s	Kanalnummer	Energie / MeV
0	0,00	284417	1150	4,00
50	0,25	280453	1101	3,83
100	0,49	281443	1090	3,79
150	0,74	278470	1057	3,68
200	0,99	280453	1070	3,72
300	1,48	277480	1038	3,61
400	1,97	275508	1009	3,51
500	2,47	273516	990	3,44
600	2,96	271534	945	3,29
700	3,46	269552	930	3,23
800	3,95	270550	921	3,20
900	4,44	268561	881	3,06
1000	4,94	276772	921	3,20

Nun wird die Zählrate graphisch als Funktion der effektiven Länge aufgetragen. Dies ist in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt.



**Abbildung 2:** Die graphische Darstellung der Zählrate gegen die effektive Länge aufgetragen für 25 mm.



**Abbildung 3:** Die graphische Darstellung der Zählrate gegen die effektive Länge aufgetragen für 5 mm.

Zur Bestimmung der mittleren Reichweite wird der linear abfallende Teil der Daten mit  $y = ax + b$  gefittet. So ergeben sich die Parameter:

$$a = (-9496,88 \pm 388,70) \frac{1}{\text{mm}}$$

$$b = 243897.83 \pm 8668.86$$

Nun wird die so erhaltene Funktion nach x umgestellt und für y die Hälfte der maximalen Counts, welche aus Tabelle 1 entnommen werden, eingesetzt.

$$R_m = x = \frac{\frac{y}{2} - b}{a}$$

Der Fehler wird mit

$$\Delta R_m = \sqrt{\frac{\Delta_b^2}{a^2} + \frac{\Delta_y^2}{4a^2} + \frac{\Delta_a^2}{a^4} \left(-b + \frac{y}{2}\right)^2}$$

berechnet. So ergibt sich für die mittlere Reichweite

$$R_m = (21,7 \pm 1,3) \text{ mm}$$

. Die dazu gehörige Energie wird mit der durch Umstellen von (1) hergeleiteten Formel

$$E_\alpha = \left(\frac{R_m}{3.1}\right)^{\frac{2}{3}}$$

und der Fehler mit

$$\Delta E_\alpha = \frac{2}{3 \cdot 3.1^{\frac{2}{3}}} \sqrt{\frac{\Delta_{R_m}^2}{R_m^{\frac{2}{3}}}}$$

berechnet. So ergibt sich eine Energie von

$$E_\alpha = (3,66 \pm 0,14) \text{ MeV}$$

. Bei Abbildung 3 kann so keine mittlere Reichweite bestimmt werden, da die Counts nicht auf das halbe Niveau absinken.

## 4.2 Bestimmung des Energieverlustes von $\alpha$ -Strahlung

Um den Energieverlust bestimmen zu können, wird die Energie gegen die effektive Länge aufgetragen und mit der Funktion

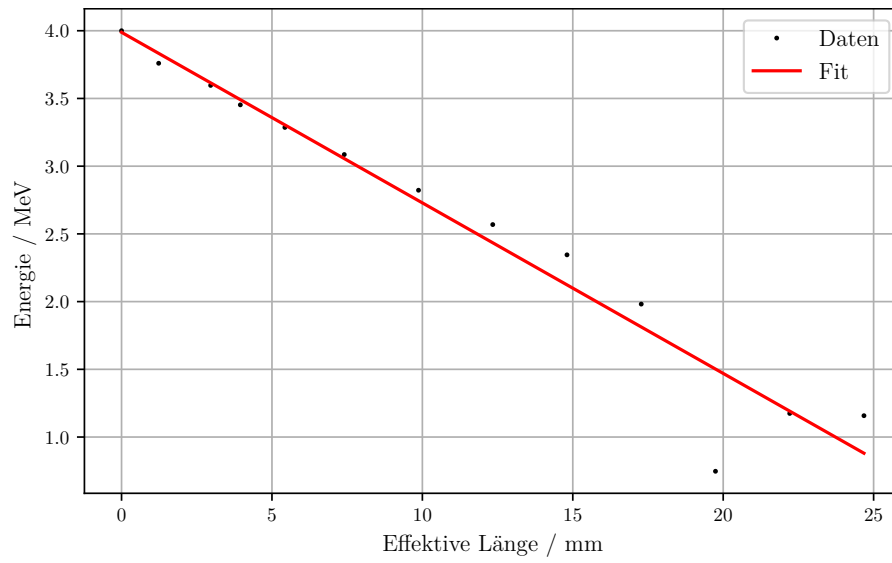
$$y = ax + b$$



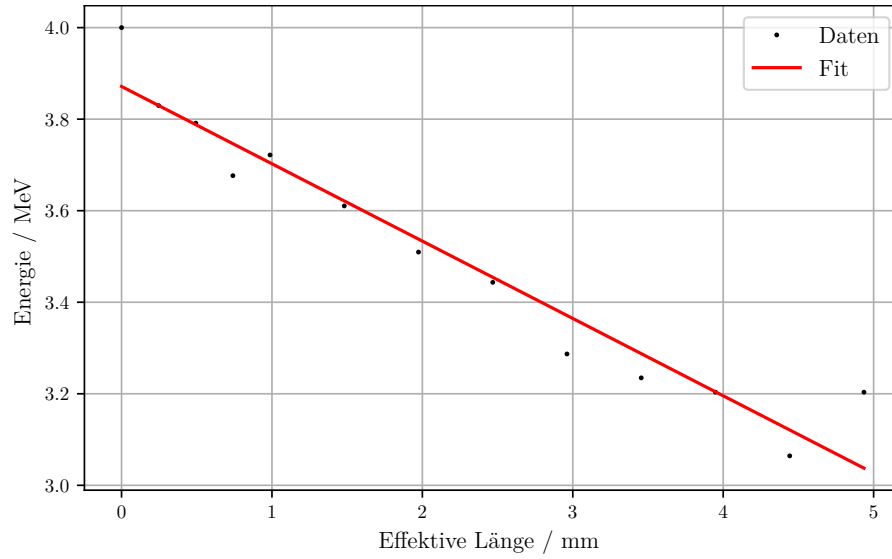
mit Python [3] [2] linear gefittet. Diese Kurven sind in den Abbildungen 4 und 5 zu finden. So wurden die Parameter zu

$$\begin{aligned} a_5 &= (-0,17 \pm 0,01) \frac{\text{MeV}}{\text{mm}} \\ b_5 &= (3,87 \pm 0,04) \text{ MeV} \\ a_{25} &= (-0,13 \pm 0,01) \frac{\text{MeV}}{\text{mm}} \\ b_{25} &= (3,99 \pm 0,12) \text{ MeV} \end{aligned}$$

bestimmt.



**Abbildung 4:** Die graphische Darstellung der Energie in Abhängigkeit der effektive Länge aufgetragen für 25 mm.



**Abbildung 5:** Die graphische Darstellung der Energie in Abhängigkeit der effektive Länge aufgetragen für 5 mm.

Da ein linearer Zusammenhang zwischen Energie und effektiver Länge besteht, gilt folgender Zusammenhang:

$$-\frac{dE}{dx} = a. \quad (3)$$

So wird der jeweilige Energieverlust zu

$$-\frac{dE}{dx} = (125,9 \pm 9,1) \cdot \frac{\text{keV}}{\text{mm}}$$

für 25 mm und

$$-\frac{dE}{dx} = (168,9 \pm 13,1) \cdot \frac{\text{keV}}{\text{mm}}$$

für 5 mm bestimmt.

### 4.3 Bestimmung der Statistik des radioaktiven Zerfalls

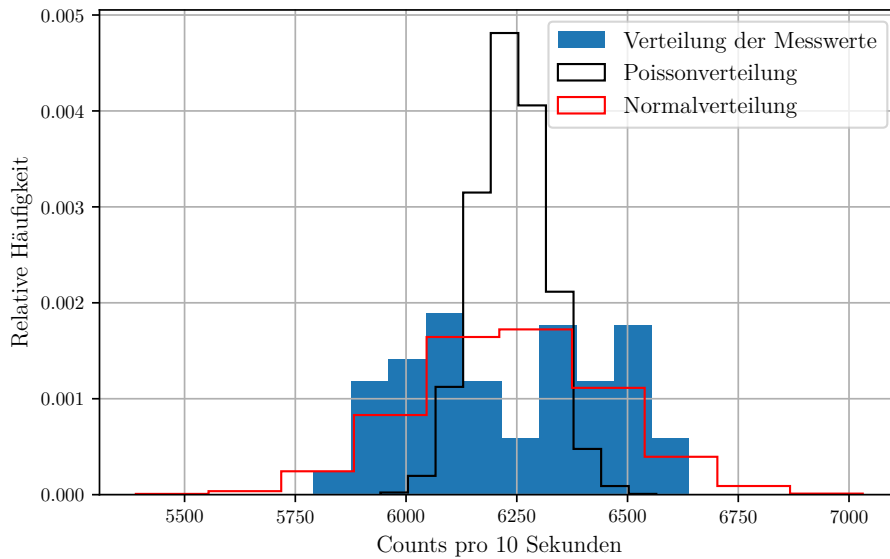
Die Messwerte sind in Tabelle 3 zu finden. Zur Bestimmung der Statistik des radioaktiven Zerfalls wird mit den Messwerten ein Histogramm erstellt. Dafür werden die gemessenen Counts in zehn gleich große Bins eingeordnet diese gegen die relative Häufigkeit aufgetragen. Zum Vergleich werden noch eine von Numpy generierte Poisson- und Gaußverteilung mit jeweils 10000 Werten und dem gemessenen Mittelwert und der dazu gehörigen Varianz geplottet. Dies ist in Abbildung 6 zu sehen. Es wird ersichtlich, dass die gemessene Verteilung keiner der beiden Verteilungen ähnelt. Der Mittelwert der Counts wird mit

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

und

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

zu  $6238 \pm 215.30$  bestimmt. Die Varianz  $\Delta\bar{x}^2$  beträgt 46352.65.



**Abbildung 6:** Histogramm des radioaktiven Zerfalls mit Normal- und Poissonverteilung.

**Tabelle 3:** Messwerte für 100 Messungen

Counts pro 10 s				
6418	5909	6062	6516	6080
6548	6473	6183	6495	5897
6614	6022	6053	6142	5931
6580	6193	6323	6127	6545
6148	6541	6078	6245	6122
6393	6037	6042	6541	6082
5977	6478	6358	5872	6063
5954	6306	6313	6135	6410
6556	6469	6101	6415	6466
5948	6114	6005	6572	6047
6096	5916	6542	6520	6340
6356	6429	6503	6303	6035
6039	6530	6038	6367	6121
6369	6338	6012	6525	6382
6029	6210	5907	6469	6492
6103	6111	6238	6301	6414
5900	6167	5791	6367	6245
6034	6186	5940	6639	6118
6367	6376	6269	6168	6194
6508	6025	6267	6392	5932

## 5 Diskussion

Die ermittelten Werte sind:

$$\begin{aligned}R_{m,25\text{mm}} &= (21,7 \pm 1,3) \text{ mm} \\E_{\alpha,25\text{mm}} &= (3,66 \pm 0,14) \text{ MeV} \\-\frac{dE_{25\text{mm}}}{dx} &= (125,9 \pm 9,1) \cdot \frac{\text{keV}}{\text{mm}} \\-\frac{dE_{5\text{mm}}}{dx} &= (168,9 \pm 13,1) \cdot \frac{\text{keV}}{\text{mm}} \\\overline{x_{\text{Counts}}} &= 6238 \pm 215.30 \\\Delta \bar{x}^2 &= 46352.65\end{aligned}$$

Da für den Abstand von 5mm keine mittlere Reichweite bestimmt werden konnte, ist ein Vergleich mit der mittleren Reichweite und Energie von der 25mm-Messung nicht möglich. Die mittlere Reichweite konnte nicht bestimmt werden, da das Präparat zu nah am Detektor war, wodurch der Detektor wahrscheinlich nicht genug Zeit zum Abklingen hatte, und somit falsche Countzahlen gemessen hat. Die bestimmte Energie lässt sich jedoch mit der Energie im Vakuum, welche aus [1] entnommen wurde, vergleichen. Sie beträgt 4MeV und die Abweichung der bestimmten Energie  $E_{\alpha,25\text{mm}}$  beträgt 7,75%. Diese Abweichung liegt im Rahmen der Messungenauigkeit. Beim Vergleich des Energieverlustes ist zu beobachten, dass der Energieverlust für die kürzere Distanz von 5mm um 25,46% größer ist als bei 25mm. Diese Abweichung geht wahrscheinlich auf die kleinere Energie der Teilchen, welche durch die längere Strecke und die damit verbundene geringere Energieabgabe durch Ladungsaustauschprozesse bedingt ist, zurück. Bei der Messung der Statistik des radioaktiven Zerfalls lies sich im Histogramm keine gängige stochastische Verteilung erkennen, was wahrscheinlich auf eine zu geringe Anzahl an Messungen zurückgeht. Dies bestätigt sich auch in Anbetracht dessen, dass die zwei Bins in welchen sich der Mittelwert mitsamt der Standardabweichung befinden zwar eine geringe Häufigkeit aufweisen, die Bins direkt neben diesem Intervall jedoch eine in etwa gleich hohe Häufigkeit aufweisen. Zur genaueren Bestimmung der Statistik sollten jedoch mehr Messwerte aufgenommen werden.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Anleitung zum Versuch 701: Reichweite von alpha-Strahlung*. 2018.
- [2] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [3] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.