

# **V701-Reichweite von Alphastrahlung**

Alina Landmann, [alina.landmann@tu-dortmund.de](mailto:alina.landmann@tu-dortmund.de)  
Jannine Salewski, [jannine.salewski@tu-dortmund.de](mailto:jannine.salewski@tu-dortmund.de)

Durchführung: 26.06.2018

Abgabe: 03.07.2018

TU Dortmund - Fakultät Physik

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>4</b>
4.1	Bestimmung der Reichweite von Alpha-Strahlung . . . . .	4
4.2	Statistik . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>12</b>

# 1 Zielsetzung

Im Versuch wird die Reichweite von Alphastrahlung in Luft ermittelt, sowie der statistische Zerfall analysiert.

## 2 Theorie

Die Entstehung von  $\alpha$ -Strahlung ist quantenmechanisch erklärbar. Die Kernkräfte und die Abstoßungskräfte der Protonen bilden einen unendlich hohen Potentialwall. Klassisch ist eine Überwindung dessen nicht erklärbar. Quantenmechanisch besteht jedoch eine Tunnelwahrscheinlichkeit, die das Überwinden des unendlich hohen Potentialwalls und somit die Entstehung von  $\alpha$ -Strahlung erklärt. Beim Durchlaufen von Materie verliert  $\alpha$ -Strahlung ihre Energie. Dies ist durch drei verschiedene Prozesse zu erklären. Zum einen durch die sogenannte Rutherford-Streuung, wobei es zu elastischen Stößen zwischen den  $\alpha$ -Teilchen und den Materieteilchen kommt, welche für den Energieverlust und somit für den Versuch jedoch nur eine untergeordnete Rolle spielt. Des weiteren ist ein Energieverlust durch Ionisationsprozesse und Anregung oder Dissoziation von Molekülen zu erklären. Zu erwähnen ist, dass der Energieverlust der  $\alpha$ -Strahlung bei kleineren Geschwindigkeiten größer wird, was durch die längere Zeit zu erklären ist, die die Teilchen zur Wechselwirkung miteinander haben. Außerdem ist der Energieverlust abhängig von der Energie der  $\alpha$ -Teilchen selbst, sowie der Dichte des Materials mit dem die Strahlung wechselwirkt. Die Bethe-Bloch-Gleichung beschreibt den Energieverlust von Teilchen, die eine hinreichend große Anfangsenergie besitzen. Sie verliert ihre Gültigkeit für  $\alpha$ -Teilchen mit geringer Energie, weil dann Ladungsaustauschprozesse stattfinden.

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

In der Bethe-Bloch-Gleichung beschreibt  $z$  die Ladung,  $v$  die Geschwindigkeit der  $\alpha$ -Strahlung,  $n$  die Teilchendichte,  $Z$  steht für die Ordnungszahl und  $I$  für die Ionisationsenergie des Targetgases. Die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung lässt sich dann mittels Integration berechnen:

$$\int_0^{E_\alpha} \frac{dE_\alpha}{-dE_\alpha/dx}$$

Die mittlere Reichweite  $R_m$  von Teilchen mit niedrigerer Energie, bei denen es vermehrt zu Ladungsaustauschprozessen kommt, kann mittels empirischer gewonnener Kurven bestimmt werden. Gleichung ?? beschreibt die mittlere Reichweite für  $\alpha$ -Teilchen, die

eine Energie unter 2,5 MeV besitzen. Die mittlere Reichweite beschreibt die Distanz, in der noch die Hälfte aller emittierten  $\alpha$ -Teilchen ankommen.

$$R_m = 3,1 \cdot E_\alpha^{3/2}$$

Da die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung in Gasen druckabhängig ist, gilt zur Ermittlung der Reichweite folgender Zusammenhang:

$$x = x_0 \frac{p}{p_0}$$

Hierbei beschreibt  $x_0$  den fixen Abstand zwischen Detektor und Quelle, und  $p_0$  den Normaldruck von 1013 bar.

### 3 Durchführung

Zur Durchführung des Versuchs wird eine  $\alpha$ -Strahlungsquelle, ein Detektor, eine Vakuumpumpe zur Evakuierung des Glaszylinders, in dem sich Quelle und Detektor befinden, ein Vorverstärker, ein Vielkanalanalysator, sowie ein PC, der die vom Detektor gemessenen und vom Vielkanalanalysator analysierten, Daten aufnimmt, benötigt. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 1 zu sehen. Der Abstand der Quelle ist variabel einzustellen und an einer Skala, die außen auf dem Glaszylinder aufgezeichnet ist, abzulesen. Der Detektor ist ein Halbleiter-Sperrschichtzähler, welcher den Vorteil besitzt, dass er dazu in der Lage ist Strahlung mit niedrigerer Energie zu detektieren. Dies geschieht, indem einfallende Ionen in der Sperrschicht des Halbleiters ein Elektron-Loch-Paar erzeugen, welches zu einem Strompuls im Halbleiter führen, welcher gemessen werden kann. Die erzeugten Pulse werden von dem Vorverstärker verstärkt, vom Vielkanalanalysator analysiert und an das PC-Programm "Multichannel Analyzer" weitergegeben. Im Programm werden die Pulshöhen, die der Energie der  $\alpha$ -Strahlung entsprechen, als Histogramm dargestellt.

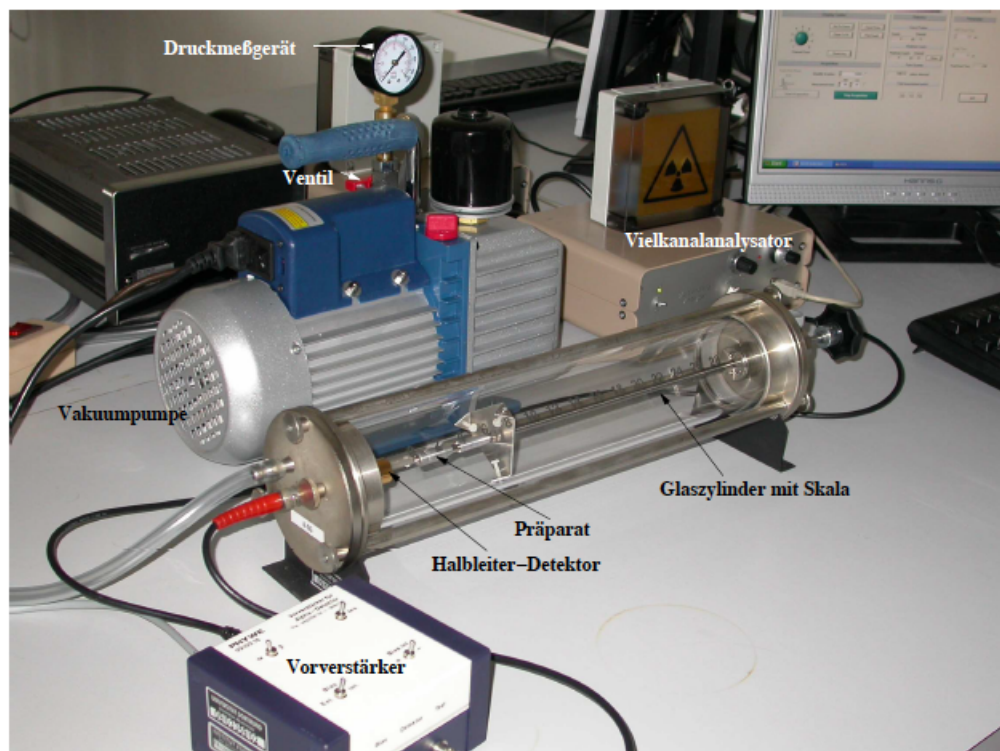


Abbildung 1: Versuchsaufbau [Dor].

Im ersten Teil des Versuchs muss zu Beginn der Glaszylinder evakuiert werden. Die Messdauer eines jeden Schrittes beträgt zwei Minuten. Nach zwei Minuten Messdauer werden dann die gemessenen Counts insgesamt, die Counts, die sich um das Maximum herum befinden, sowie die Lage des Maximums notiert. Es wird davon ausgegangen, dass die detektierte  $\alpha$ -Strahlung bei 0 mbar eine Energie von 4 MeV besitzt. Aus der Anzahl der Counts im Maximum lässt sich mittels Dreisatz die Energie für höhere Drücke berechnen. Der Druck wird schrittweise um 50 mbar erhöht und die drei oben erwähnten Werte werden jeweils nach zwei Minuten Messzeit notiert. Der Druck kann bis 1000 mbar erhöht werden. Es ist daher wichtig, dass im Vorfeld klargestellt wurde, dass die Apparatur so eingestellt ist, dass bei diesem maximalen Druck nur noch sehr wenige bis gar keine Counts insgesamt mehr detektiert werden. Am Versuchstag wurde diese Überprüfung bereits im Vorfeld, jedoch nicht von uns durchgeführt. Die oben beschriebene Messung wird einmal bei einem Abstand zwischen Quelle und Detektor von 2 cm und ein weiteres Mal für einen Abstand von 2,5 cm durchgeführt.

Zur Ermittlung des statistischen Zerfalls werden im evakuierten Glaszylinder für 100 Messungen bei einem Abstand von 2 cm über 10 s die Gesamtcounts gemessen und notiert. Die Zerfallsraten werden sodann in einem Histogramm aufgetragen und es werden Mittelwert und Varianz der Zählraten bestimmt. Anschließend werden die Ergebnisse mit der Poisson- und der Gaußverteilung verglichen.

## 4 Auswertung

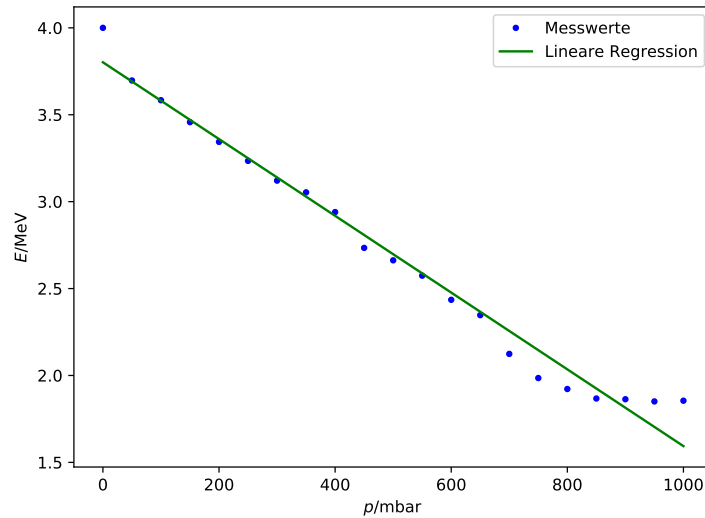
### 4.1 Bestimmung der Reichweite von Alpha-Strahlung

Die Messwerte zur Bestimmung der Reichweite von Alpha-Strahlung bei  $x_0 = 2$  cm sind in Tabelle 1 aufgelistet, wobei  $x_0$  den Abstand zwischen der Quelle und dem Detektor beschreibt. Zur Bestimmung der Abhängigkeit der Energie  $E$  vom Druck  $p$ , muss zunächst die Energie berechnet werden. Hierzu wird von einer linearen Energieskala ausgegangen, wobei die Alpha-Teilchen bei dem Druck  $p = 0$  bar eine Energie von 4 MeV besitzen. Diese Energien können mittels Dreisatz für alle anderen Messungen berechnet werden:

$$E(p) = \frac{C(p)}{C(p=0)} \cdot 4 \text{ MeV}$$

Die Energie  $E(p)$  wird in Abhängigkeit des Drucks  $p$  in Abbildung 2 aufgetragen. Mittels einer linearen Regression der Form  $E(p) = a p + b$  kann die Funktion für  $E(p)$  ermittelt werden:

$$\begin{aligned} a &= (-2,21 \pm 0,07) \frac{\text{MeV}}{\text{mbar}} \\ b &= (3,80 \pm 0,04) \text{ MeV} \\ E(p) &= -2,21 \cdot p + 3,8 \end{aligned}$$



**Abbildung 2:** Energie  $E$  in Abhängigkeit des Drucks  $p$ .

wobei  $E$  in MeV und  $p$  in bar.

Des weiteren soll die mittlere Reichweite der Alpha Teilchen bestimmt werden, die Messwerte zu diesem Versuchsteil sind in Tabelle 1 und 2 aufgelistet. Zur Bestimmung der mittleren Reichweite wird in Abbildung 3 die Rate  $R$  der "Pulses Detected", also  $R = \frac{N_{\text{gesamt}}}{\Delta t}$ , gegen die effektive Länge aufgetragen, hierbei ist  $\Delta t = 120$  s das Messintervall und  $N_{\text{gesamt}}$  die gemessenen Impulse in dem Zeitintervall. Die effektive Länge  $x$  lässt sich aus dem gemessenen Druck  $p$  berechnen mit Hilfe der Formel

$$x = x_0 \cdot \frac{p}{p_0}$$

wobei  $x_0$  den Abstand zwischen der Quelle und dem Detektor und  $p_0 = 1013,25$  mbar den Atmosphärendruck beschreibt. Die Messung für  $x_0 = 2$  cm ist in Abbildung 3 zu sehen und die Messung für  $x_0 = 2,5$  cm in Abbildung 4.

Zur Bestimmung der mittleren Reichweite der Alpha-Teilchen wird eine lineare Regression ab dem Abfall der Messwerte durchgeführt. Die mittlere Reichweite ist als die Reichweite definiert, bei der nurnoch die Hälfte der "Impulse detected" erfasst werden. Damit kann nun die mittlere Reichweite berechnet werden. Die lineare Regression der Form

$N_{\text{gesamt}}(x) = m \cdot x + b$  liefert die Werte für beide Messungen

$$\begin{aligned} m_1 &= (-750 \pm 70) \frac{1}{\text{s cm}} \\ b_1 &= (1,47 \pm 0,11) \frac{1}{\text{ms}} \\ m_2 &= (0,610 \pm 0,050) \frac{1}{\text{s cm}} \\ b_2 &= (1,31 \pm 0,09) \frac{1}{\text{ms}} \end{aligned}$$

Daraus folgt für die mittleren Reichweiten  $\bar{x}$ :

$$\begin{aligned} \frac{R_1}{2} &= 328,95 \frac{1}{\text{s}} \\ \bar{x}_1 &= 15,3 \text{ mm} \\ \frac{R_2}{2} &= 262,54 \frac{1}{\text{s}} \\ \bar{x}_2 &= 17,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Aus den mittleren Reichweiten lassen sich die Energien mittels der Formel

$$E = \left( \frac{\bar{x}}{3.1} \right)^{\frac{2}{3}}$$

berechnen, wobei  $\bar{x}$  in mm und  $E$  in MeV angegeben wird. Daraus folgt für die Energien

$$\begin{aligned} E_1 &= 2,899 \text{ MeV} \\ E_2 &= 3,146 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Weiterführend soll außerdem noch der Energieverlust  $-\frac{dE}{dx}$  für die erste Messung ( $x_0 = 2 \text{ cm}$ ) bestimmt werden. Hierzu wird die Energie  $E$  in Abhängigkeit der effektiven Reichweite  $x$  gegeneinander aufgetragen (siehe Abbildung 5). Bei den Messwerten wird eine lineare Regression der Form  $E(x) = ex + E_0$  durchgeführt. Diese liefert die Werte:

$$\begin{aligned} e &= (-1,12 \pm 0,04) \frac{\text{MeV}}{\text{cm}} \\ E_0 &= (3,80 \pm 0,04) \text{ MeV} \end{aligned}$$

Der Energieverlust lässt sich somit aus der Steigung ablesen:

$$-\frac{dE}{dx} = -e = (1,12 \pm 0,04) \frac{\text{MeV}}{\text{cm}}$$



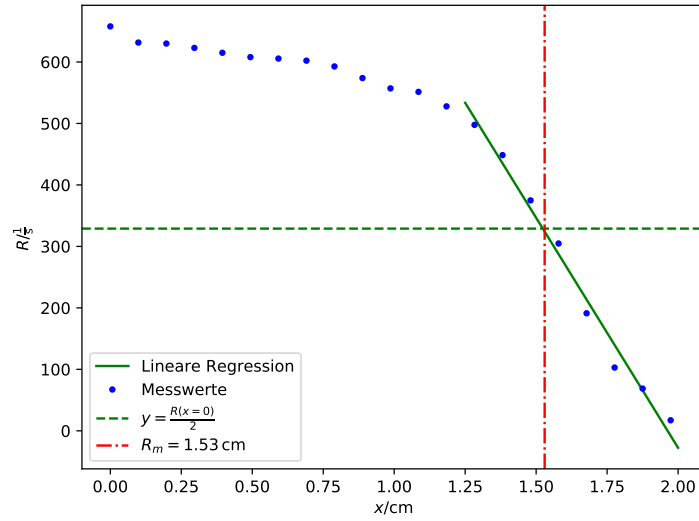
## 4.2 Statistik

Zur Überprüfung der Statistik werden 100 Messwerte in einer Zeitdauer von  $\Delta t = 10$  s aufgenommen, diese Messwerte sind in Tabelle 3 aufgelistet. Zur Berechnung des Mittelwertes und die Standardabweichung wird wie folgt berechnet:

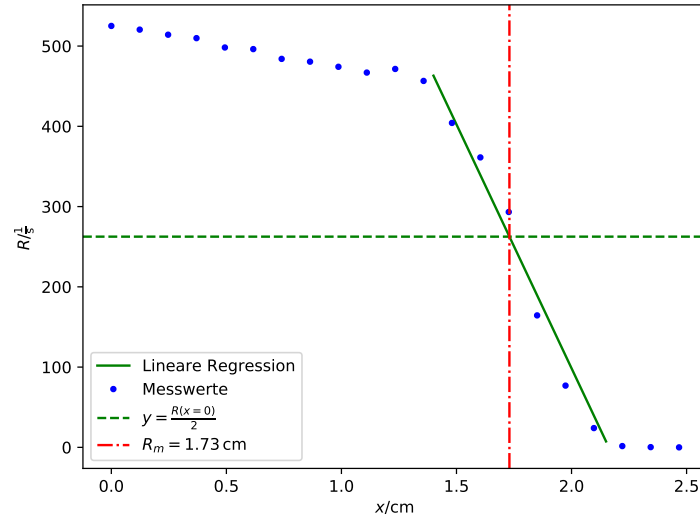
$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^{100} N_i}{100} = 5156,14$$

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{100} (N_i - \bar{N})^2}{100}} = 206,16$$

Das Histogramm der Messwerte und der Verteilungen (Poisson- und Normalverteilung) sind in Abbildung 6 dargestellt.



**Abbildung 3:** Rate  $R$  in Abhängigkeit der effektiven Reichweite  $x$  für  $x_0 = 2$  cm.



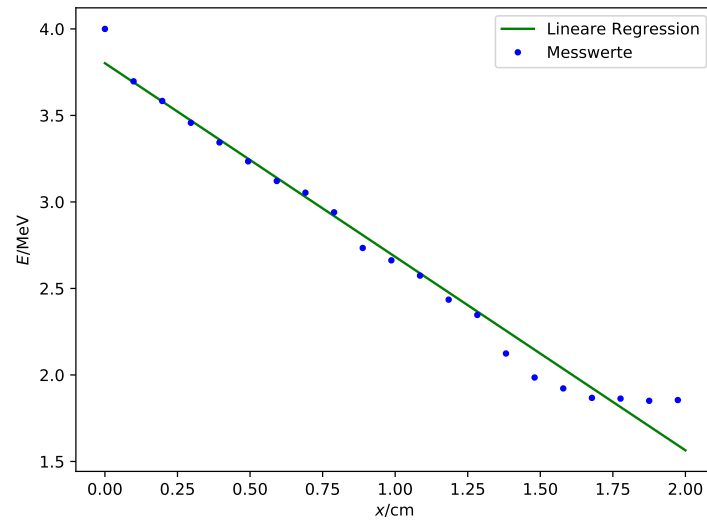
**Abbildung 4:** Rate  $R$  in Abhängigkeit der effektiven Reichweite  $x$  für  $x_0 = 2,5$  cm.

**Tabelle 1:** Messwerte: Reichweite der Alpha-Strahlung bei  $x_0 = 2$  cm

Druck $p$ / mbar	Counts $N$	Channel $C$	Pulses detected $N_{\text{gesamt}}$	Energie $E$ / MeV
0	212	951	78949	4,00
50	219	879	75793	3,70
100	223	852	75596	3,58
150	227	822	74744	3,46
200	239	795	73799	3,34
250	246	769	72949	3,23
300	263	742	72668	3,12
350	281	726	72257	3,05
400	272	699	71129	2,94
450	280	650	68861	2,73
500	297	633	66846	2,66
550	309	612	66164	2,57
600	314	579	63336	2,44
650	331	558	59725	2,35
700	329	505	53819	2,12
750	334	472	44985	1,99
800	344	457	36568	1,92
850	299	444	22941	1,87
900	195	443	12352	1,86
950	189	440	8248	1,85
1000	55	441	2060	1,85

**Tabelle 2:** Messwerte: Reichweite der Alpha-Strahlung bei  $x_0 = 2,5 \text{ cm}$

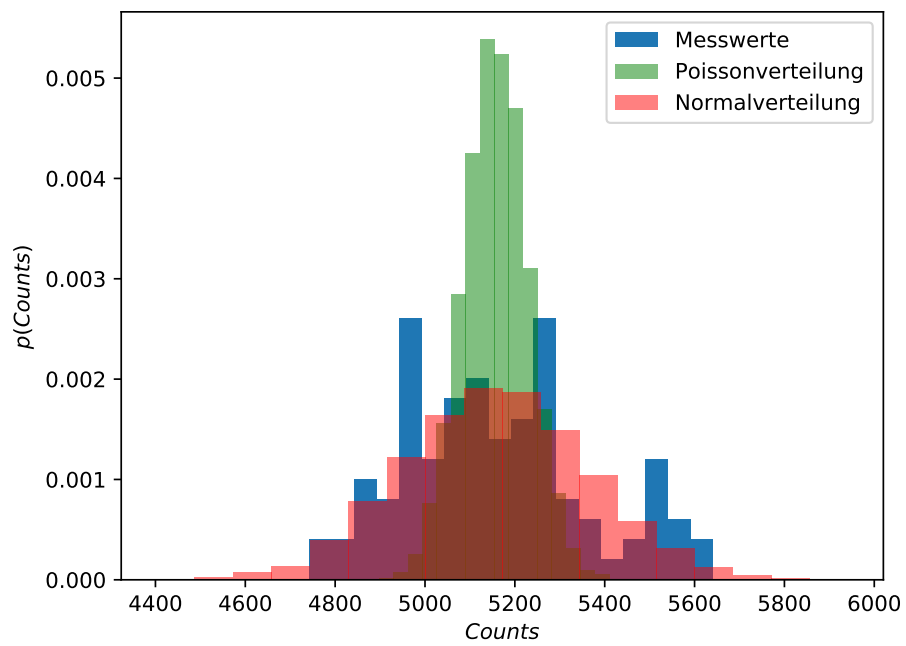
Druck $p / \text{mbar}$	Counts $N$	Channel $C$	Pulses detected $N_{\text{gesamt}}$
0	174	904	63009
50	184	881	62457
100	182	826	61698
150	199	804	61184
200	205	774	59786
250	219	746	59545
300	212	719	58084
350	233	689	57667
400	235	654	56901
450	245	633	56036
500	251	623	56577
550	240	594	54787
600	257	543	48507
650	271	508	43352
700	322	451	35190
750	262	443	19731
800	176	440	9231
850	73	440	2882
900	7	447	191
950	2	433	33
1000	0	0	0



**Abbildung 5:** Berechnung des Energieverlustes.

**Tabelle 3:** Statistik.

Messung	Counts	Messung	Counts	Messung	Counts	Messung	Counts
1	5131	26	5286	51	5304	76	5109
2	5555	27	5440	52	4875	77	5117
3	5100	28	5280	53	4990	78	5144
4	5597	29	5087	54	4743	79	4876
5	5502	30	5227	55	5136	80	5214
6	5308	31	5547	56	5336	81	5032
7	5041	32	5368	57	5119	82	5265
8	4854	33	5182	58	4966	83	5115
9	5280	34	4863	59	4807	84	5269
10	5274	35	5258	60	5176	85	4960
11	5156	36	5523	61	4855	86	5036
12	4983	37	5067	62	5193	87	5024
13	5215	38	5496	63	4935	88	5346
14	4945	39	5215	64	4952	89	5203
15	5567	40	5493	65	4985	90	5049
16	5065	41	5047	66	5103	91	5079
17	5474	42	5131	67	5137	92	4955
18	5209	43	5001	68	4952	93	4823
19	5526	44	5249	69	5275	94	4910
20	5084	45	5144	70	4939	95	4947
21	5277	46	4974	71	4751	96	4953
22	5301	47	5353	72	5216	97	5043
23	5451	48	5289	73	5159	98	5641
24	5176	49	5044	74	5016	99	5531
25	4950	50	4935	75	5291	100	5242



**Abbildung 6:** Messwerte mit einer Poisson- und einer Normalverteilung.

## 5 Diskussion

In Tabelle 4 sind die mittleren Reichweite und deren Energien im Vergleich aufgelistet. Zu erkennen sind kleine Abweichungen untereinander, da aber kein Literaturwert vorliegt, kann keine Aussage über dessen Richtigkeit getroffen werden.

**Tabelle 4:** Zusammenfassung der Ergebnisse.

	$x_0 = 20 \text{ mm}$	$x_0 = 25 \text{ mm}$
mittlere Reichweite	15,3 mm	17,3 mm
Energie der mittleren Reichweite	2,899 MeV	3,146 MeV

Die erstellte Statistik in Abbildung 6 zeigt die gemessene Verteilung im Vergleich zu einer Poissonverteilung und einer Normalverteilung. Zu erkennen ist, dass die gemessenen Werte eher einer Normalverteilung entsprechen, dies kann an der geringen Anzahl an Messungen liegen, da diese Verteilung eigentlich einer Poissonverteilung entsprechen sollte. Außerdem kann der Statistik entnommen werden, dass die Wahrscheinlichkeiten um den Erwartungswert über der Normalverteilung liegen und sich der Poissonverteilung nähern.