

V701

Reichweite von Alpha-Strahlung

Amelie Hater

amelie.hater@tu-dortmund.de

Ngoc Le

ngoc.le@tu-dortmund.de

Durchführung: 30.04.2024

Abgabe: 07.05.2024

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Versuchsaufbau	4
4 Durchführung	5
5 Auswertung	5
6 Diskussion	12
Anhang	14
Originaldaten	14

1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Versuchs ist die Reichweite von α -Strahlung in Luft über den Energieverlust zu bestimmen.

2 Theorie

Durch elastische Stöße geben α -Teilchen beim Durchlaufen von Materie Energie ab. Somit lässt sich über den Energieverlust der α -Strahlung die Reichweite bestimmen. Außerdem verringert sich die Energie eines α -Teilchen ebenfalls durch Anregung oder Dissoziation von Molekülen. Hierbei ist der Energieverlust $-\frac{dE_\alpha}{dx}$ von Energie der α -Strahlung und der Dichte des durchlaufenden Materials ab. Je kleiner die Geschwindigkeit, desto mehr nimmt die Wahrscheinlichkeit zur Wechselwirkung zu. Mithilfe der Bethe-Bloch-Gleichung

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

wird der Energieverlust der α -Teilchen für hinreichend große Energien beschrieben. z ist die Ladung, v die Geschwindigkeit der α -Strahlung, Z die Ordnungszahl, n die Teilchendichte und I die Ionisierungsenergie des Targetgases. Für kleine Energien ist Bethe-Bloch Gleichung allerdings nicht gültig, weil Ladungsaustauschprozesse auftauchen. Die Reichweite R eines α -Teilchens lässt sich über

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

berechnen. Dies ist die Wegstrecke bis zu einer vollständigen Abbremsung des α -Teilchens. Für kleine Energien werden zur Bestimmung der mittleren Reichweite R_m empirisch gewonne Kurven verwendet. Die mittlere Reichweite ist die Reichweite, die von der Hälfte der vorhandenen α -Teilchen erreicht wird. Für Strahlungen in der Luft mit einer Energie von $E_\alpha \leq 2,5 \text{ MeV}$ gilt für die mittlere Reichweite

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

mit einer Größenordnung von Millimetern für R_m . Für eine α -Strahlung in Gasen bei konstanter Temperatur und konstantem Volumen ist die Reichweite eines α -Teilchens vom Druck p abhängig. Für die effektive Länge x gilt dann

$$x = x_0 \cdot \frac{p}{p_0}, \quad (4)$$

wobei x_0 der feste Abstand zwischen Detektor und α -Strahler und $p_0 = 1013 \text{ mbar}$ den Normaldruck beschreiben.

3 Versuchsaufbau

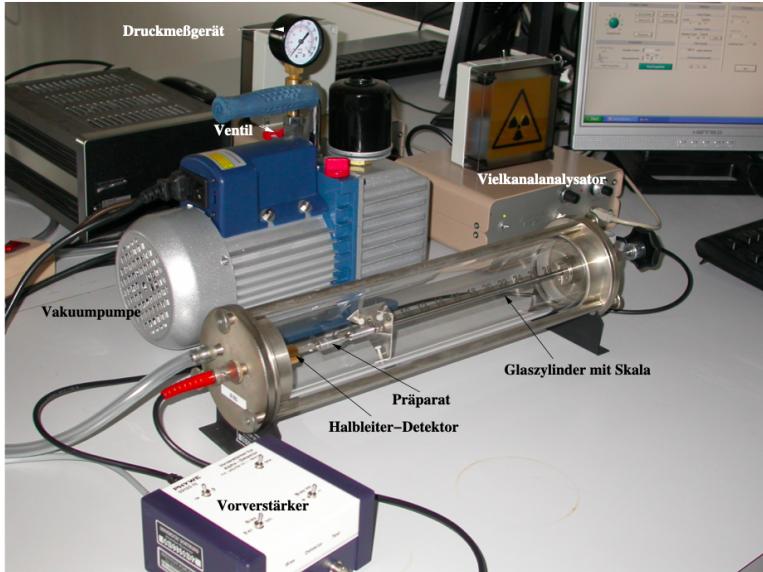


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Reichweite von α -Strahlung Q[1].

Der Versuch wird mithilfe der Apparatur in Abbildung 1 durchgeführt. In dem Glaszyliner befindet sich ein α -Präparat sowie ein Detektor, deren Distanz x_0 einstellbar ist. In diesem Fall wird als Strahlungsquelle ein Am-Präparat verwendet. Bei diesem Versuch ist der Detektor ein Halbleiter-Sperrsichtzähler, welcher an eine Gleichspannung in Sperrrichtung angelegt ist und ähnlich wie eine Diode funktioniert. Ein Halbleiter-Sperrsichtzähler besteht aus n- und p-Leitern zwischen denen sich eine ladungsträgerfreie Zone (Verarmungszone) bildet. Diese Zone wird durch eine Spannung in Sperrrichtung vergrößert. Ein Strompuls entsteht, indem ein einfallendes Ion in der Verarmungszone mehrere Elektronen-Loch Paare erzeugt. Der entstehende Puls wird durch einem Vorverstärker verstärkt und mithilfe eines Vielkanalanalysators die zugehörige Pulshöhe ermittelt. Außerdem ist der obige Versuchsaufbau mit einem Computer verbunden. Darauf wird mithilfe des Programms *Multichannel Analyzer* und mit eingestelltem *Multichannel Analysator (MCA)* kann die Gesamtzählrate gemessen und eine Pulshöhenanalyse durchgeführt werden. Bevor die Messung beginnt, werden die Diskreminatorschwellen am Vielkanalanalysator eingestellt. Dafür wird der Abstand zwischen der Quelle und dem Detektor auf ca. 4 bis 5 cm eingestellt. Anschließend wird die Schwelle angepasst, sodass bei Atmosphärendruck unter *pulses detected* Pulse zu erkennen sind.

4 Durchführung

Zunächst wird der Glaszyliner evakuiert, indem die Belüftungsventile geschlossen werden und die Drehschieberpumpe aktiviert wird. Sobald der Druck bei $p \approx 0$ mbar liegt,

wird das rote Ventil zwischen der Pumpe und dem Glaszyylinder geschlossen und die Pumpe ausgestellt. Wenn der Druck in der Apparatur konstant bleibt, kann die Messung beginnen. Um die Reichweite von α -Strahlung zu bestimmen, wird die Energieverteilung und die Zählrate der α -Strahlung in Abhängigkeit vom Druck p in Abständen von ca. 50 mbar gemessen. Der Druck wird mithilfe des Belüftungsventils eingestellt und die Messzeit beträgt 2 min. Für jede Messung wird die Position des Energiemaximums und die Gesamtzählrate notiert. Diese Messungen werden für zwei verschiedene Abstände zwischen dem Detektor und der α -Strahlung durchgeführt. Anschließend wird eine Messreihe zur Überprüfung der Statistik des radioaktiven Zerfalls aufgenommen. Dabei wird der Glaszyylinder erneut evakuiert und es werden 100 mal die Zerfälle pro Zeiteinheit bei einem Druck von $p = 0$ mbar gemessen. Die Messzeit beträgt hier 10 s.

5 Auswertung

Zuerst wird der Energieverlust der Alphateilchen bestimmt. Dieser wird ermittelt, indem die Energie der Teilchen gegen die effektive Weglänge aufgetragen wird. Die effektive Weglänge wird dabei mithilfe von Formel (4) berechnet. Die Energie wird durch einfachen Dreisatz aus mehreren Informationen berechnet. Zum einen ist wichtig, dass die Energie proportional zum Channel, indem die meisten Teilchen gemessen werden, ist und zum anderen, dass der Channel, indem bei einem Druck von 0 mbar die meisten Teilchen sind, eine Energie von 4 MeV hat. Die Anzahl der Teilchen, die abhängig vom Druck gemessen werden und die Channel, in denen die meisten Teilchen gezählt werden, sind in Tabelle (1) für einen Abstand der Probe von $x_{0,1} = 4,5$ cm und in Tabelle (2) für einen Abstand der Probe von $x_{0,2} = 6$ cm aufgelistet.

Tabelle 1: Eingestellter Druck, gemessene Pulsanzahl und Channel mit der höchsten Pulsrate bei einem Abstand von 4,5 cm

Druck [mbar]	Anzahl der gemessenen Pulse	Channel der maximalen Pulszahl
0	26225	1239
60	26012	1158
100	25800	1064
150	25502	999
200	25299	926
260	24468	839
300	24326	770
350	23974	720
400	22682	620
450	21331	511
500	15645	423
560	1433	415

Tabelle 2: Eingestellter Druck, gemessene Pulsanzahl und Channel mit der höchsten Pulsrate bei einem Abstand von 6 cm

Druck [mbar]	Anzahl der gemessenen Pulse	Channel der maximalen Pulszahl
0	16038	1171
50	15679	1109
100	15145	995
150	15031	921
200	14814	839
250	14313	775
300	13741	640
350	13076	614
400	6313	415
450	376	410
500	0	0

Die sich aus den Daten ergebenden Werte sind in Abbildung (2) für den Abstand von 4,5 cm und in Abbildung (3) für den Abstand von 6 cm geplottet. Dazu wird jeweils eine lineare Ausgleichsgerade der Form $y = mx + n$ aufgestellt und geplottet.

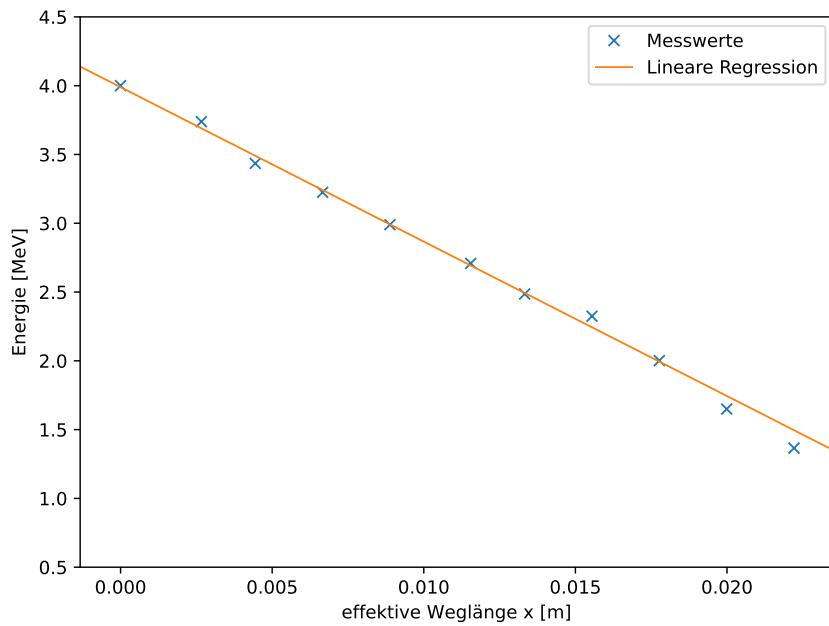


Abbildung 2: Energie aufgetragen gegen die effektive Weglänge bei einer absoluten Entfernung von 4,5 cm mit Ausgleichsgerade

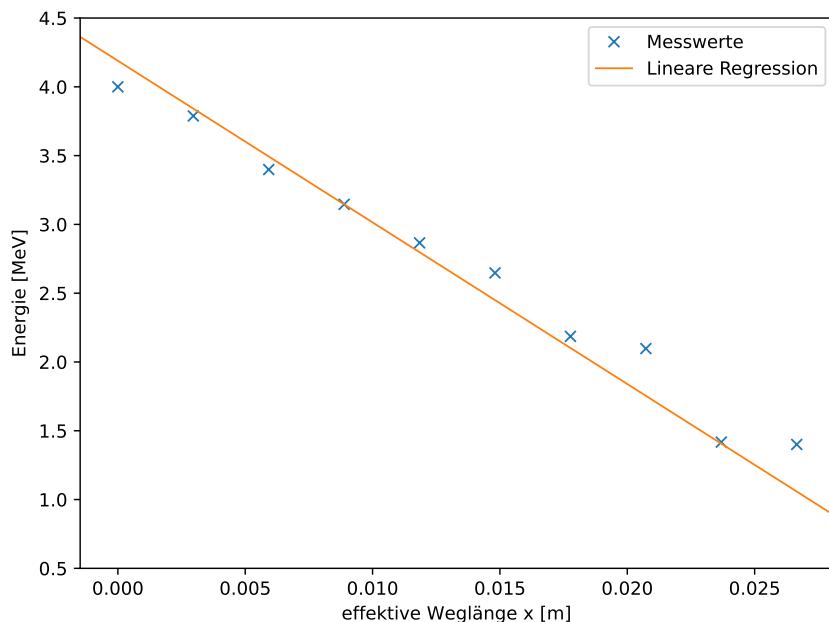


Abbildung 3: Energie aufgetragen gegen die effektive Weglänge bei einer absoluten Entfernung von 6 cm mit Ausgleichsgerade

Die Steigung der Ausgleichsgerade ist dabei der Energieverlust. Dieser beträgt bei einem

Abstand von 4,5 cm $m_1 = (-112 \pm 2,5) \frac{\text{MeV}}{\text{m}}$. Bei einem Abstand von 6 cm beträgt dieser $m_2 = (-117 \pm 9,8) \frac{\text{MeV}}{\text{m}}$.

Zur Bestimmung der mittleren Reichweite wird die gemessene Pulsnanzahl gegen die effektive Weglänge aufgetragen und dann der Schnittpunkt der Ausgleichsgerade, die durch den zu sehenden starken Abfall geht und einer Konstanten bei der Hälfte der höchsten gemessenen Pulsnanzahl. Dieser Schnittpunkt wird grün markiert. Der Plot zu einer Entfernung von 4,5 cm ist Abbildung (4) und zu einer Entfernung von 6 cm ist Abbildung (5).

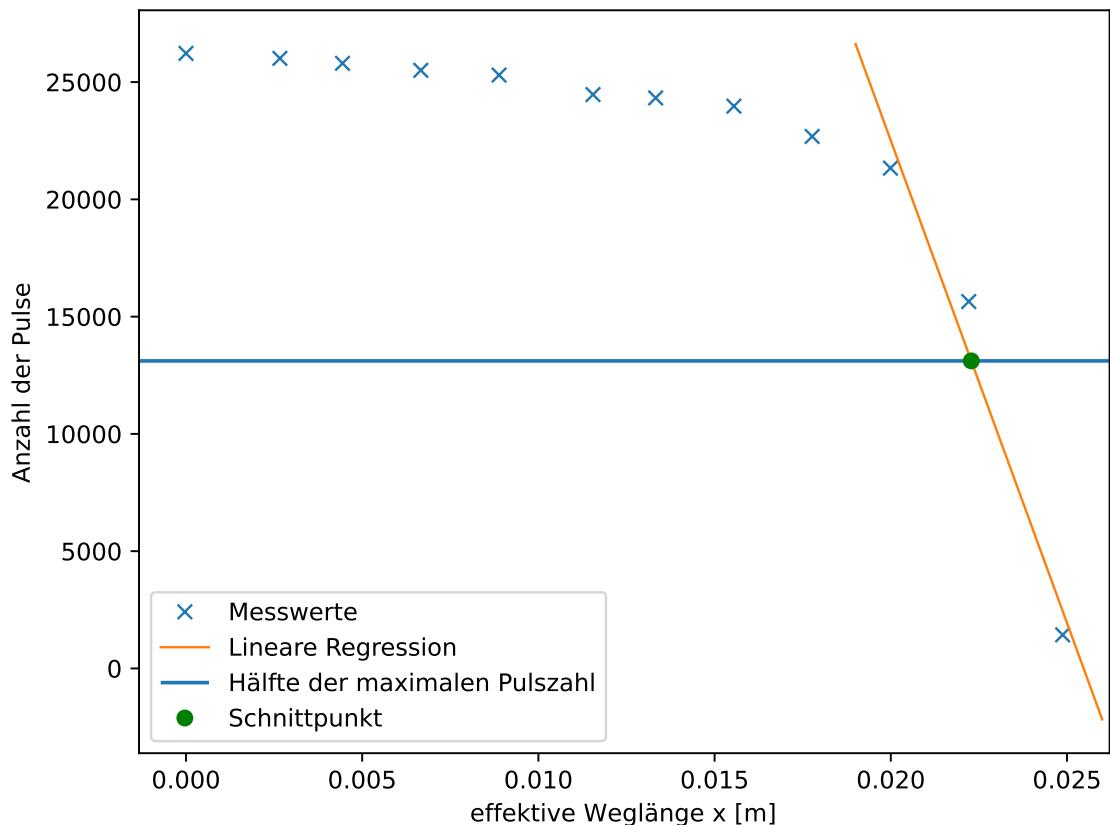


Abbildung 4: Pulsnanzahl aufgetragen gegen die effektive Weglänge bei einer absoluten Entfernung von 4,5 cm

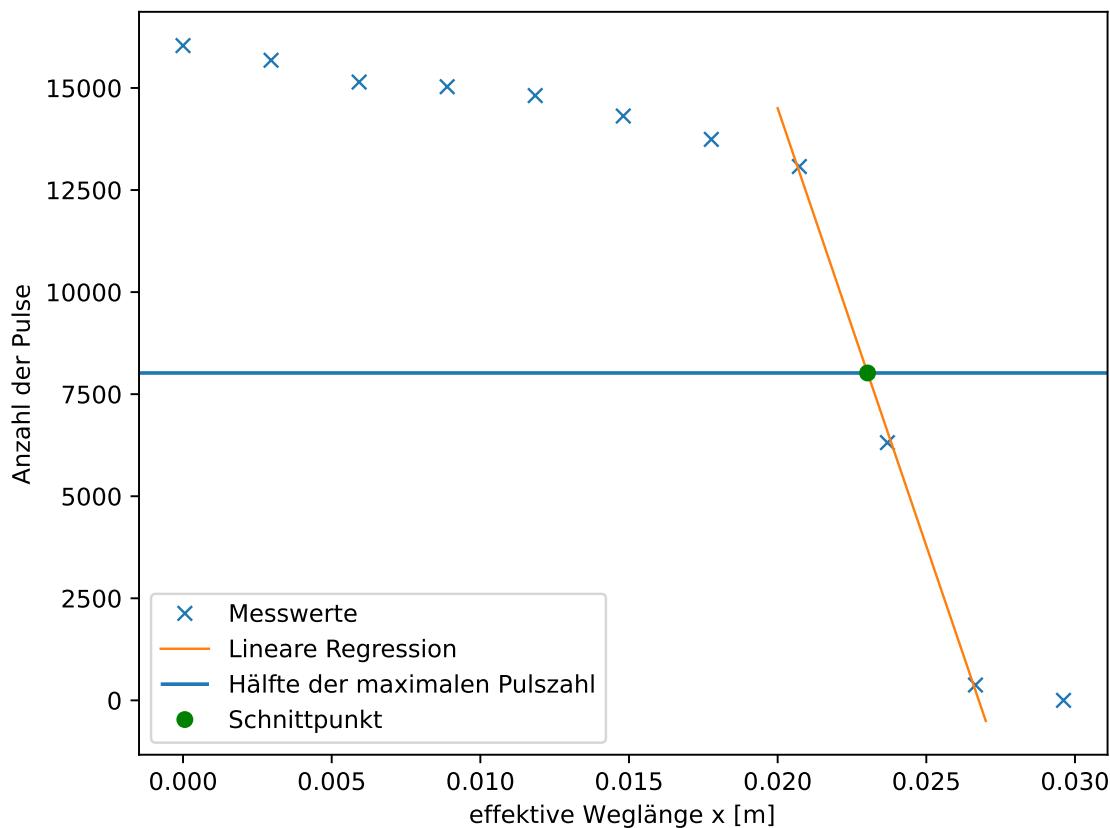


Abbildung 5: Pulszahl aufgetragen gegen die effektive Weglänge bei einer absoluten Entfernung von 6 cm

Die x-Koordinate des grün markierte Schnittpunkts gibt die mittlere Reichweite an. Bei einer Entfernung von 4,5 cm ist die mittlere Reichweite $x_1 = 2,26$ cm und bei einer Entfernung von 6 cm ist diese $x_2 = 2,30$ cm.

Anschließend wird die statistische Messung, in der 100 Mal die Pulszahl in einem Zeitintervall von 10 s bei gleichem Druck und gleichem Abstand gemessen werden, mit einer Poissonverteilung und einer Gaußverteilung verglichen. Die gemessenen Pulszahlen sind in Tabelle (3) zu sehen.

Tabelle 3: Statistische Messung der Pulsanzahl in einem Zeitintervall von 10s

Pulsanzahl	Pulsanzahl	Pulsanzahl	Pulsanzahl	Pulsanzahl	Pulsanzahl
1338	1229	1205	1252	1154	1325
1233	1171	1336	1251	1241	1212
1246	1300	1215	1306	1298	1308
1329	1177	1176	1254	1158	1250
1161	1253	1307	1158	1189	1187
1209	1220	1189	1227	1249	1197
1235	1319	1204	1272	1175	1268
1272	1285	1188	1196	1323	1308
1222	1233	1246	1204	1236	1243
1225	1175	1289	1301	1141	1248
1315	1188	1260	1249	1267	1280
1293	1227	1241	1262	1307	1278
1284	1295	1292	1220	1244	1345
1270	1205	1258	1258	1227	1347
1316	1195	1219	1230	1196	1117
1208	1188	1225	1211	1312	1244
1218	1212	1271	1142		

Diese Werte werden in Abbildung (6) zusammen mit einer Gaußverteilung und dem oberen bzw. unterem Ende des Messdatenfehlers durch Histogramme verschiedener Bingrößen dargestellt.

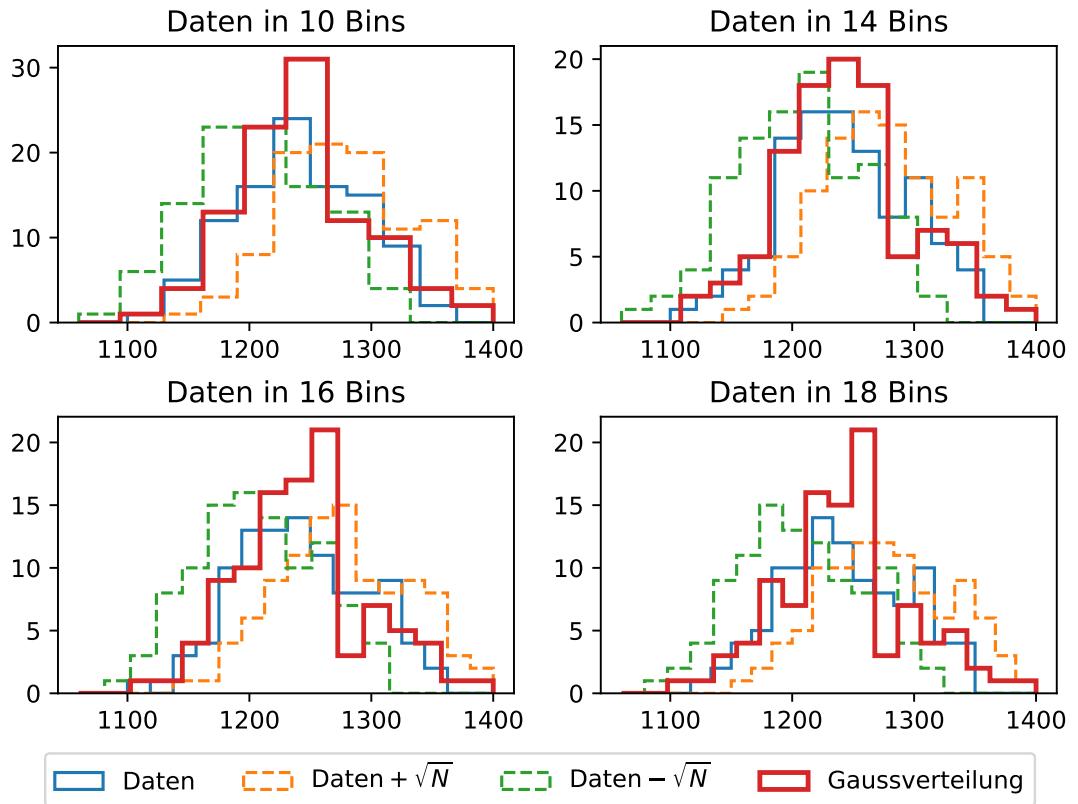


Abbildung 6: Histogramme mit verschiedenen Bingrößen zur Darstellung der Daten und der Gaußverteilung.

In Abbildung (7) sind die Daten zusammen mit einer Poissonverteilung dargestellt, um einen Vergleich zwischen Gauß- und Poissonverteilung möglich zu machen.

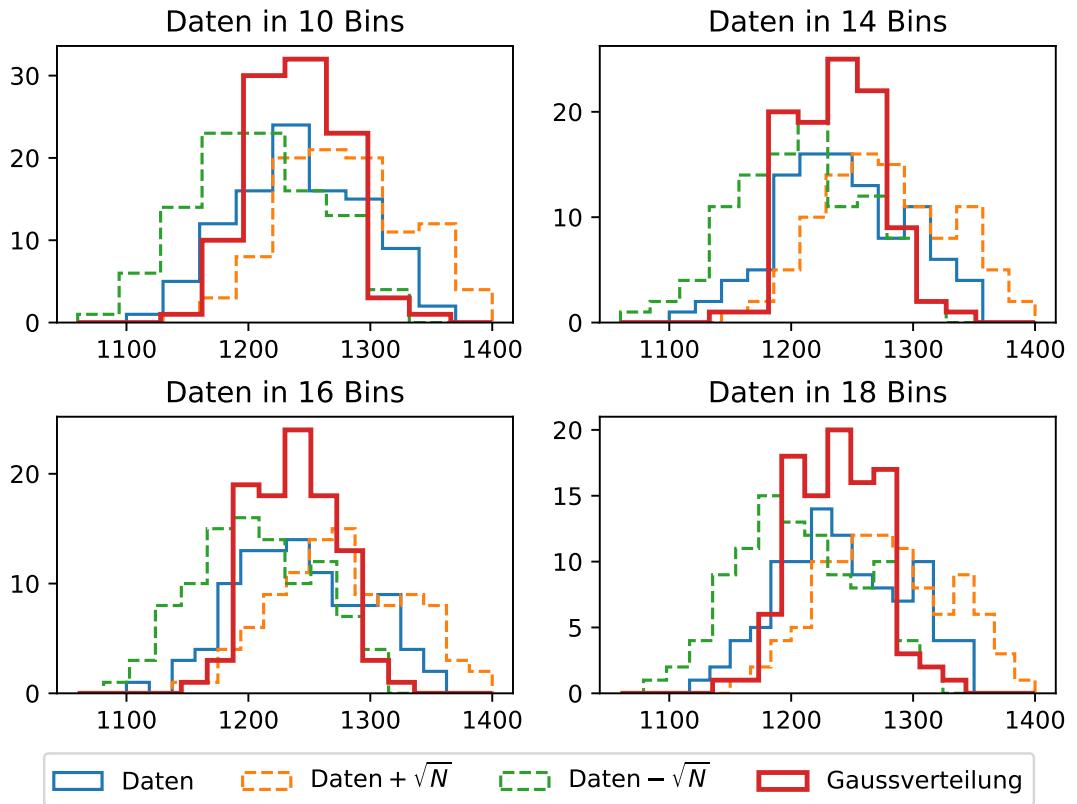


Abbildung 7: Histogramme mit verschiedenen Bingrößen zur Darstellung der Daten und der Poissonverteilung.

Die verwendete Standardabweichung der Daten entspricht 51,48 und der verwendete Mittelwert ist $1242 \pm 3,5$.

6 Diskussion

Die Abweichungen werden mithilfe der Formel

$$\text{rel. Abweichung} = \frac{|\text{exp. Wert} - \text{theo. Wert}|}{\text{theo. Wert}}$$

berechnet. Aus Ermangelung eines Theoriewerts werden jeweils die berechneten Werte der unterschiedlichen absoluten Abstände miteinander verglichen. Zwischen dem Energieverlust bei einem Abstand von 4,5 cm und dem bei einem Abstand von 6 cm besteht eine Abweichung von 4,44 %. Zwischen der mittleren Reichweite bei einem absoluten Abstand von 4,5 cm und einem Abstand 6 cm besteht eine Abweichung von 3,22 %. Auffällig ist, dass die statistische Verteilung eher einer Gaußverteilung gleicht, als einer Poissonverteilung, wie die Theorie beschreibt. Die Abweichungen können dadurch zustande kommen, dass kein perfektes Vakuum hergestellt werden kann und daher der Wert bei einem Druck

von 0 fehlerhaft sind. Außerdem konnte mithilfe der Skala auf dem Barometer der Druck nicht präzise eingestellt werden. Die Abweichungen sind vor allen Dingen gering, da durch den Versuchsaufbau größere, experimentelle Fehler verhindert wurden.

Literatur

- [1] Unknown. *Reichweite von Alpha-Strahlung*. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2024.
- [2] Unknown. *Teilchendetektoren - Halbleiterdetektoren*. URL: http://www.solstice.de/grundl_d_tph/exp_detek/exp_detek_09.html (besucht am 04.05.2024).

Anhang

Originaldaten

V701 Reichweite α -Strahlung						
Abstand	4,5 cm	Threshold: 0,88			$\Delta t = 2 \text{ min}$	
mbar	pulses detected	Max. count @ channel	channel	counts @	channel	counts @
0	26225	78	1239	78	1239	
60	26012	82	1158	82	1158	
100	25800	83	1064	83	1064	
150	25502	85	999	85	999	
200	25299	90	926			
250	24468	89	839			
300	24326	101	770			
350	23974	101	720			
400	22682	103	620			
450	21331	120	511			
500	15645	99	423			
550	4464	71	368			
560	1433	28	415			Schwelle 1,0
Abstand 6 cm						
0	16038	50	1171			
50	15679	54	1103			30424 Max
100	15145	55	995			
150	15031	55	921			
200	14814	68	839			Fehler \sqrt{N}
250	14313	75	775			
300	13741	72	640			
350	13076	67	614			
400	6313	65	415			
450	376	12	410			
500	0	0	0			

Statistik : Abstand 6cm			
Omlbar ss = 10 sek			
1) 1338	29) 1262	57) M71	85) 1212
2) 1233	30) 1220	58) 1323	86) 1308
3) 1246	31) 1258	59) 1236	87) 1250
4) 1329	32) 1230	60) 1141	88) 1137
5) 1161	33) 1211	61) 1267	89) M97
6) 1209	34) 1229	62) 1307	90) 1268
7) 1235	35) M71	63) 1244	91) 1308
8) 1272	36) 1300	64) 1227	92) 1243
9) 1222	37) M77	65) M96	93) 1248
10) 1225	38) 1253	66) 1312	94) 1280
11) 1315	39) 1220	67) 1205	95) 1278
12) 1293	40) 1318	68) 1336	96) 1345
13) 1284	41) 1285	69) 1215	97) 1347
14) 1270	42) 1233	70) M76	98) 1M77
15) 1316	43) M75	71) 1307	99) 1241
16) 1208	44) M88	72) M89	100) 1241
17) 1218	45) 1223	73) 1204	
18) 1252	46) 1295	74) M88	
19) 1251	47) 1205	75) 1246	
20) 1306	48) M95	76) 1289	
21) 1254	49) M88	77) 1260	
22) 1158	50) 1212	78) 1241	
23) 1227	51) M54	79) 1292	
24) 1272	52) 1241	80) 1258	
25) 1196	53) 1298	81) 1219	
26) 1204	54) M58	82) 1225	
27) 1301	55) M89	83) 1271	
28) 1249	56) 1249	84) 1325	