

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		13
	Originaldaten	13

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 gewonnene 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

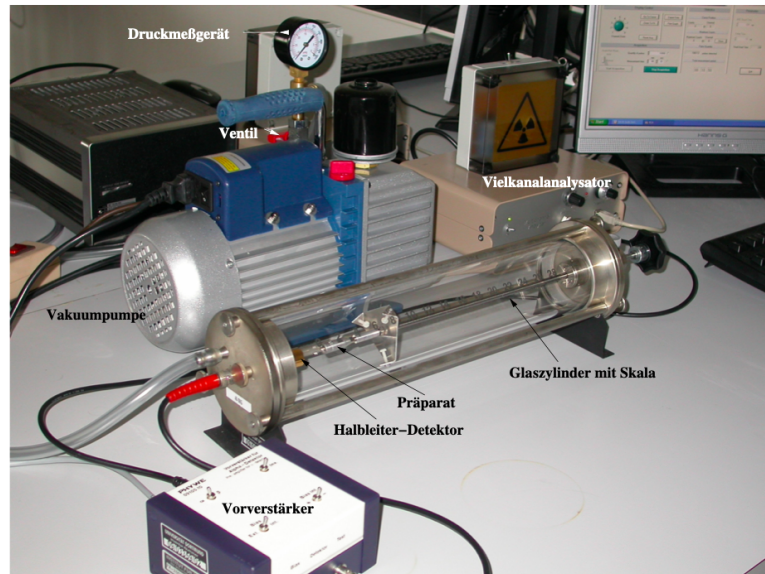


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Reichweite von α -Strahlung Q[anleitungV701].

Der Versuch wird mithilfe der Apparatur in Abbildung 1 durchgeführt. In dem Glaszylinder 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-Sperrschichtzähler, welcher an eine Gleichspannung in Sperrrichtung angelegt ist und ähnlich wie eine Diode funktioniert. Ein Halbleiter-Sperrschichtzähler 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 einen 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 Diskriminatorschwellen 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 Glaszylinder 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 Glaszylinder 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 Glaszylinder 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.

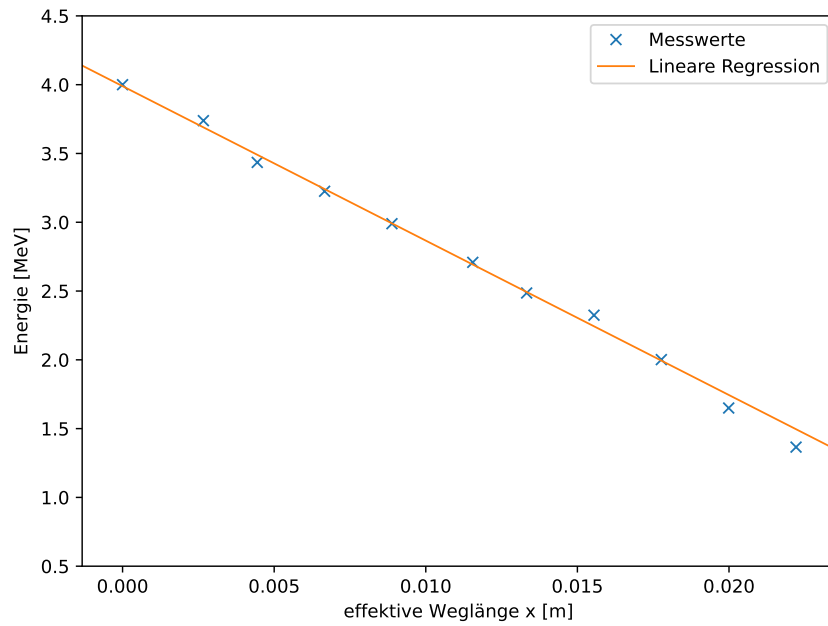


Abbildung 2: Energie aufgetragen gegen die effektive Weglänge bei einer absoluten Entfernung von 4,5 cm mit Ausgleichsgerade

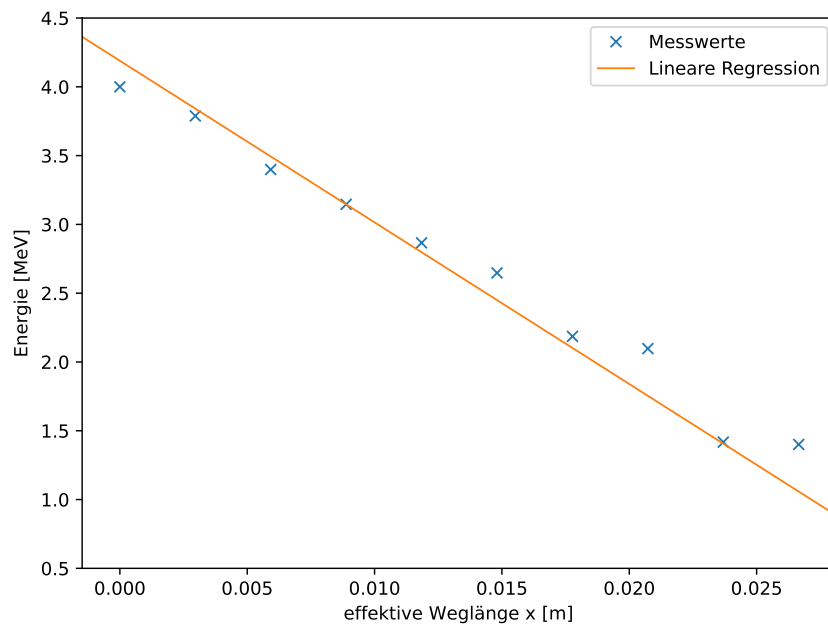


Abbildung 3: Energie aufgetragen gegen die effektive Weglänge bei einer absoluten Entfernung von 6 cm mit Ausgleichsgerade

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 Pulsanzahl 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 Pulszahl. 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).

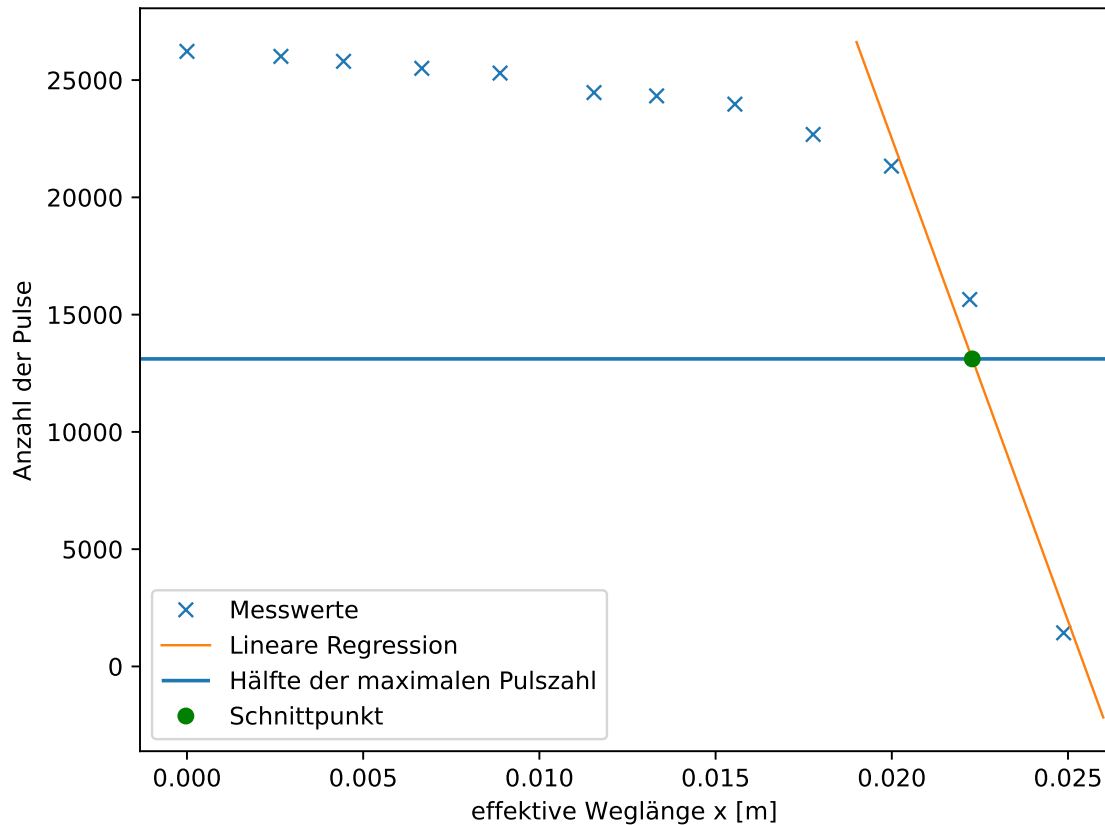


Abbildung 4: Pulsanzahl aufgetragen gegen die effektive Weglänge bei einer absoluten Entfernung von 4,5 cm

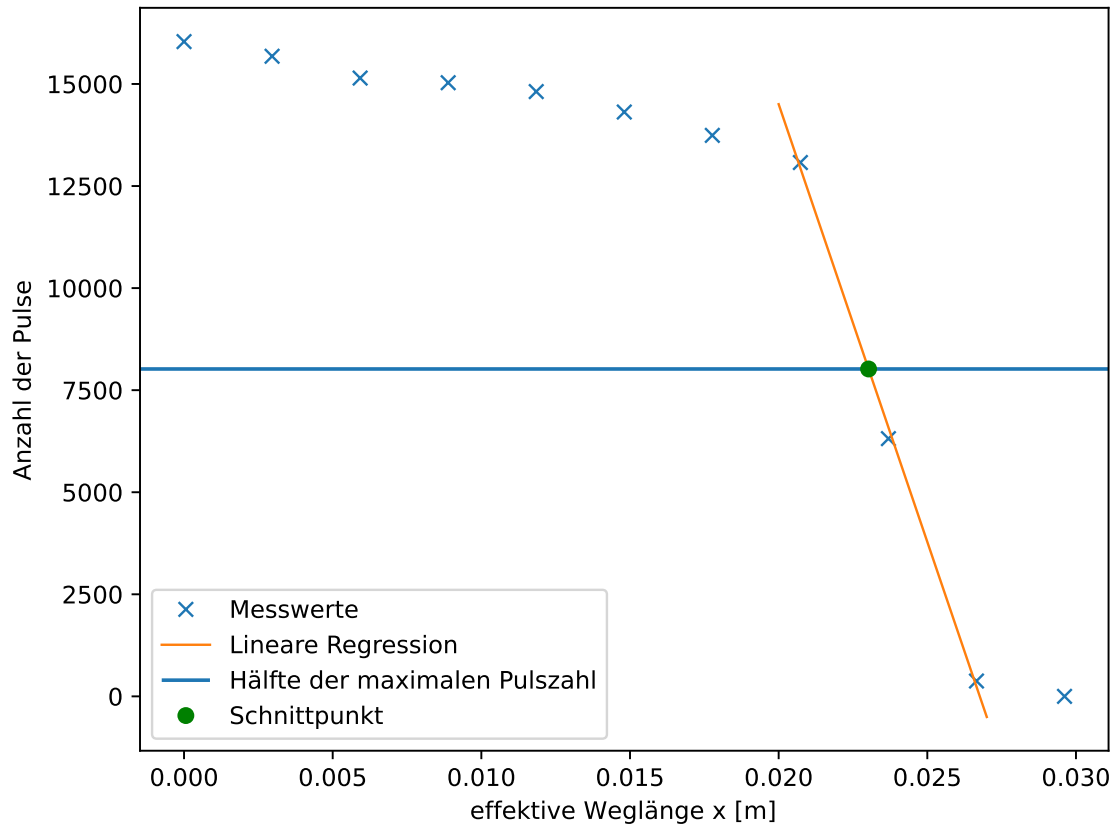


Abbildung 5: Pulszahl aufgetragen gegen die effektive Weglänge bei einer absoluten Entfernung von 6 cm

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 Pulsanzahl 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 10 s

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 Binsgrößen dargestellt.

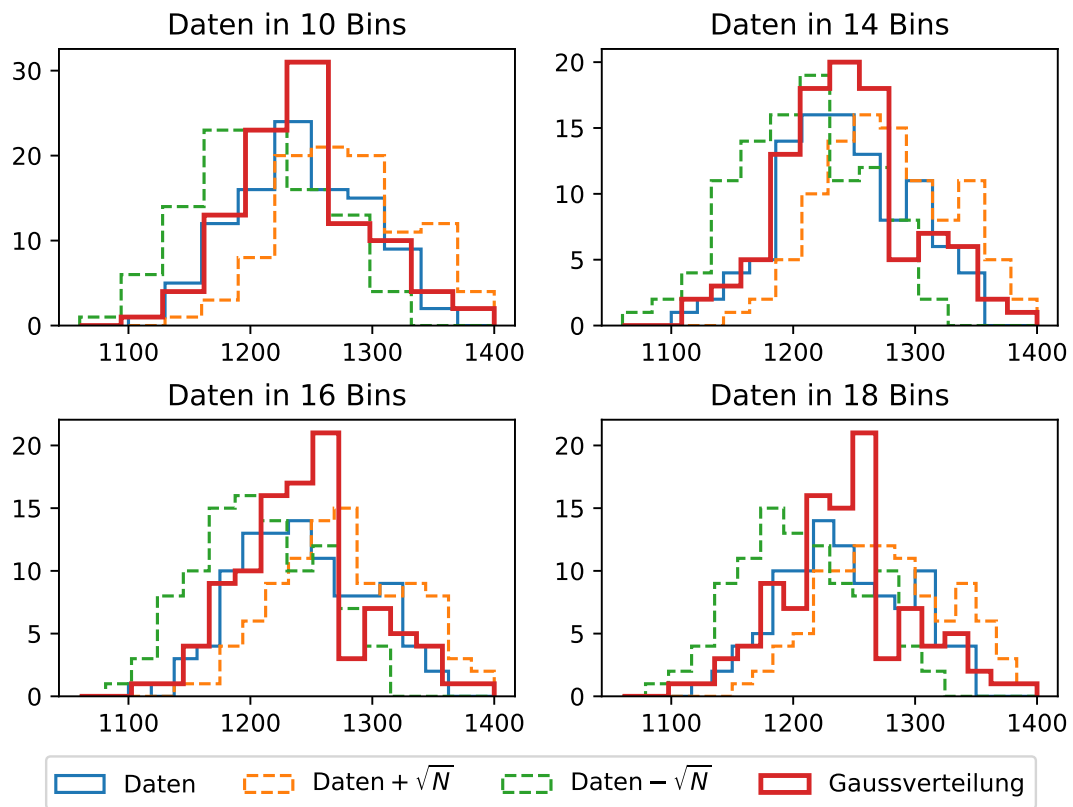


Abbildung 6: Histogramme mit verschiedenen Bingrößen zur Darstellung der Daten und der Gaußverteilung.

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

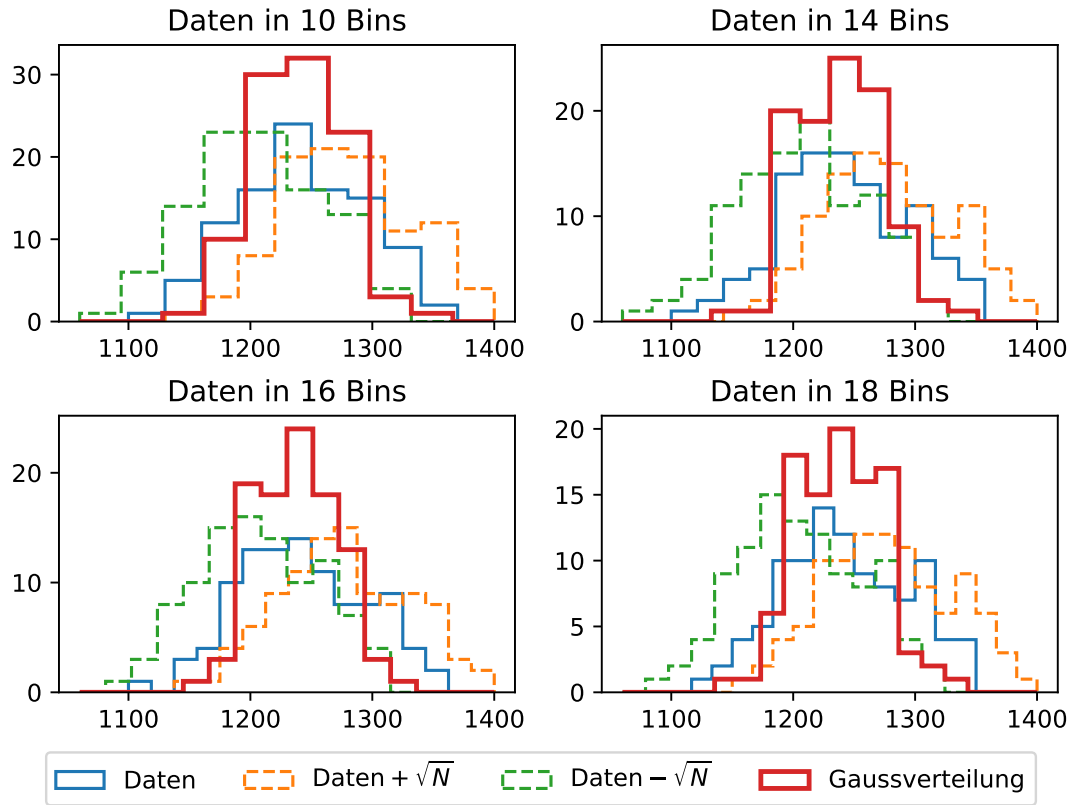


Abbildung 7: Histogramme mit verschiedenen Bingrößen zur Darstellung der Daten und der Poissonverteilung.

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.

Anhang

Originaldaten