

VERSUCH 701

Reichweite von Alpha-Strahlung

Lars Kolk

`lars.kolk@tu-dortmund.de`

Julia Sobolewski

`julia.sobolewski@tu-dortmund.de`

Durchführung: 12.06.2018

Abgabe: 19.06.2018

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 Entstehung von alpha-Strahlung	3
2.2 Alpha-Strahlung im Medium	3
2.3 Der Halbleitersperschichtzähler	4
3 Durchführung	4
3.1 Aufbau	4
3.2 Bestimmung der Reichweite von Alpha-Strahlung	5
3.3 Statistik des radioaktiven Zerfalls	5
4 Auswertung	5
4.1 Bestimmung der Reichweite und des Energieverlustes von Alpha-Strahlung	5
4.1.1 Messung 1 - $d = 23$ mm	5
4.1.2 Messung 2 - $d = 24$ mm	8
4.2 Statistik des radioaktiven Zerfalls	10
5 Diskussion	12
Literatur	13

1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll die Reichweite von α -Strahlung in Luft bestimmt werden.

2 Theorie

2.1 Entstehung von alpha-Strahlung

Bei α -Strahlung handelt es sich Heliumkerne, die durch radioaktiven Zerfall entstehen. In diesem Versuch wird dies durch den Zerfall von Americium realisiert. Die dazugehörige Zerfallsgleichung lautet:



2.2 Alpha-Strahlung im Medium

Wenn sich α -Strahlung im Medium fortbewegt, kann diese durch elastische Stöße Energie abgeben. Die so abgegebene Energie für die weiteren Betrachtungen lediglich eine untergeordnete Rolle spielen. Jedoch kommt es durch Ionisations- und Anregungsprozesse zu nicht vernachlässigbaren Energieverlusten $\frac{-dE_\alpha}{dx}$, die durch die Bethe-Bloch-Gleichung gegeben sind:

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

($z \hat{=}$ Ladungen, $Z \hat{=}$ Ordnungszahl, $n \hat{=}$ Teilchendichte, $v \hat{=}$ Geschwindigkeit der α -Strahlung)

Jedoch verliert Gleichung (2) bei sehr kleinen Energien ihre Gültigkeit, da es bei diesen Energien zu Ladungsaustauschprozessen kommt. Die Reichweite der α -Strahlung lässt sich dabei durch

$$R = \int_0^E \frac{dE}{-\frac{dE}{dx}}. \quad (3)$$

berechnen. Da nicht alle α -Teilchen mit Anfangsenergie E gleich viele Stöße pro Weglänge dx ausführen, wird die mittlere Weglänge definiert. Als diese wird die Weglänge verstanden, die 50% der ausgesendeten α -Teilchen noch erreichen. Für Strahlungsenergien $E \leq 2,5 \cdot 10^6$ eV kann die mittlere Weglänge beschrieben werden durch:

$$R_m = 3,1 \cdot \sqrt{E^3}. \quad (4)$$

Bei konstanten Druck und konstanter Temperatur lässt sich mit

$$x = x_0 \cdot \frac{p}{p_0}, \quad (5)$$

($p \hat{=}$ Druck, $x_0 \hat{=}$ effektive Länge)

ein Zusammenhang zwischen dem herrschenden Druck und der effektiven Weglänge x aufstellen. Somit kann die Reichweite von α -Strahlung mithilfe einer Absorptionsmessung bestimmt werden, indem der Druck p variiert wird.

2.3 Der Halbleitersperrschichtzähler

Ein Halbleitersperrschichtzähler besteht aus einer Diode, die entgegen der Stromrichtung geschaltet ist. Zwischen den beiden Schichten bildet sich eine ladungsträgerfreie Zone aus, da die Elektronen des n-Leiters zu den positiven Ionen des p-Leiters wandern. Eintreffende α -Strahlung erzeugt in dieser Zone Elektronen-Loch-Paare. Diese werden einem elektrischen Feld getrennt und können mit Detektoren erfasst werden.

3 Durchführung

3.1 Aufbau

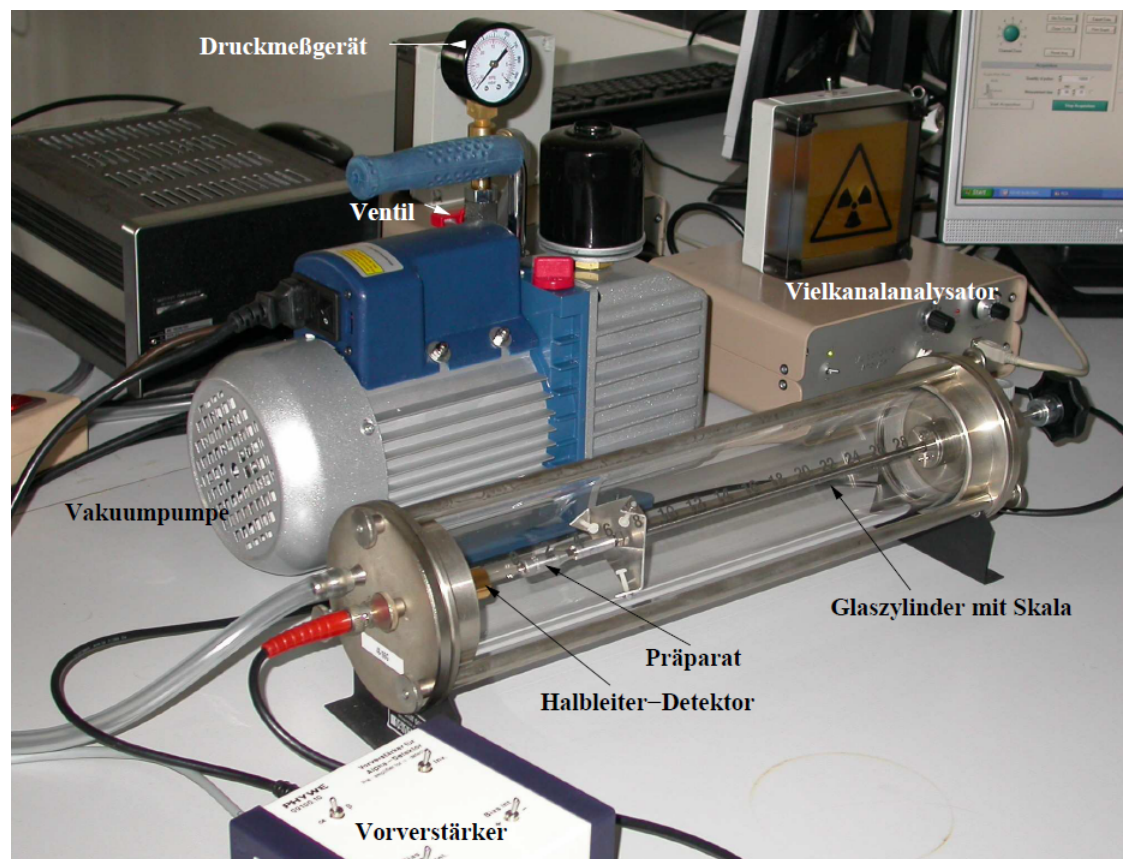


Abbildung 1: Aufbau zur Bestimmung der Reichweite von α -Strahlung[1, S. 3]

Der in Abbildung 1 zu sehende Aufbau besteht aus einem Glaszylinder, in dem sich ein Halbleiter-Detektor und das Am-Präparat befinden, einer Vakuumpumpe sowie einem Vorverstärker und einem Vielkanalanalysator. Die einzelnen Komponenten werden gemäß Abbildung 1 verbunden und wird für die im folgendem erläuterten Versuchsteile verwendet.

3.2 Bestimmung der Reichweite von Alpha-Strahlung

Zunächst wird der Glaszylinder evakuiert, sodass ein Druck von ungefähr 0 mbar herrscht. Der Abstand zwischen Präparat und Halbleiter-Detektor wird auf 23 mm eingestellt. Die Zählraten N werden bei einer Messzeit von $\Delta t = 120$ s gemessen und der Druck in $50 \cdot 10^{-3}$ bar-Schritten erhöht. Dies wird für einen Abstand von 24 mm wiederholt.

3.3 Statistik des radioaktiven Zerfalls

Der Abstand zwischen Präparat und Halbleiter-Detektor wird auf 20,5 cm eingestellt. Der Glaszylinder wird evakuiert und die Zählrate N in einem Zeitintervall von 10 s 100 mal gemessen.

4 Auswertung

4.1 Bestimmung der Reichweite und des Energieverlustes von Alpha-Strahlung

4.1.1 Messung 1 - $d = 23$ mm

In Tabelle 1 befinden sich die aufgenommenen Messwerte.

Tabelle 1: Aufgenommene Messwerte im Abstand $d = 23$ mm

p / mbar	N	Channel
0	82567	1127
50	58847	1088
100	57532	1045
150	57965	1022
200	56132	970
250	56827	934
300	56955	932
350	53724	857
400	54801	858
450	53282	819
500	47913	747
550	43768	699
600	39368	666
650	35751	625
700	37637	614

Der effektive Abstand x zwischen Strahler und Detektor ergibt sich aus Gleichung (6).

$$x = x_0 \cdot \frac{p}{p_0} \quad (6)$$

($p_0 = 1013 \text{ mbar} \hat{=} \text{Normaldruck}$)

In Abbildung 2 sind die Zählraten in Abhängigkeit vom effektiven Abstand aufgetragen. Dabei wird der Messwert bei $p = 0 \text{ mbar}$ weggelassen, da er so stark von den restlichen Werten abweicht, dass er die nachfolgende Auswertung verfälschen würde.

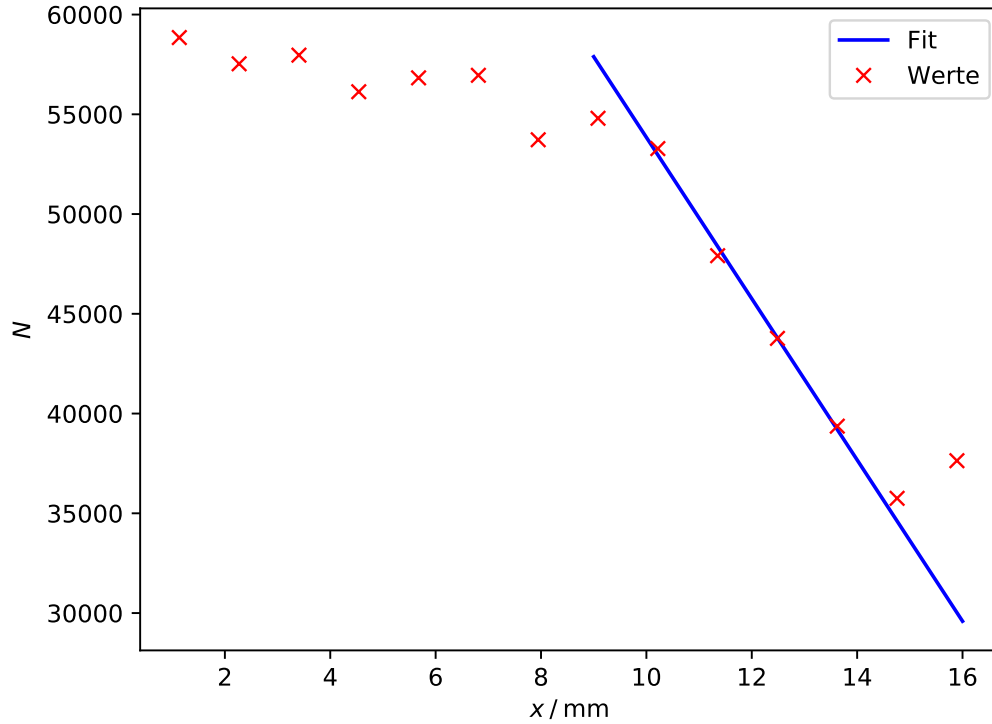


Abbildung 2: N - x -Diagramm zur Bestimmung der mittleren Reichweite von α -Strahlung

Eine lineare Regression $f(x) = -a \cdot x + b$ ergibt

$$a = (4,0 \pm 0,2) \cdot 10^3 \frac{1}{\text{mm}}$$

$$b = (9,4 \pm 0,2) \cdot 10^4$$

Die mittlere Reichweite ergibt sich aus

$$R_m = \frac{N_{\text{max}}/2 - b}{a}. \quad (7)$$

Die maximale Zählrate beträgt hier ungefähr $N_{\text{max}} = 57\,376$. Für die mittlere Reichweite ergibt sich nach Gleichung (7) somit

$$R_m = (16,2 \pm 0,8) \text{ mm}.$$

Der Fehler ergibt sich aus der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung (8)

$$\sigma_{R_m} = \sqrt{\left(-\frac{1}{a} \cdot \sigma_b\right)^2 + \left(\frac{b}{a^2} \cdot \sigma_a\right)^2}. \quad (8)$$

Der mittleren Reichweite entspricht eine Energie von

$$E_\alpha = \left(\frac{R_m}{3,1}\right)^{2/3}. \quad (9)$$

Nach Gleichung (9) ergibt sich somit

$$E_\alpha = (3,0 \pm 0,1) \text{ MeV}.$$

Der Fehler ergibt sich aus der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung (10).

$$\sigma_{E_\alpha} = \sqrt{\left(\frac{2}{3} \cdot \frac{1}{(3,1 \cdot R_m^2)^{1/3}} \cdot \sigma_{R_m}\right)^2} \quad (10)$$

In Abbildung 3 ist die Energie gegen den effektiven Abstand aufgetragen.

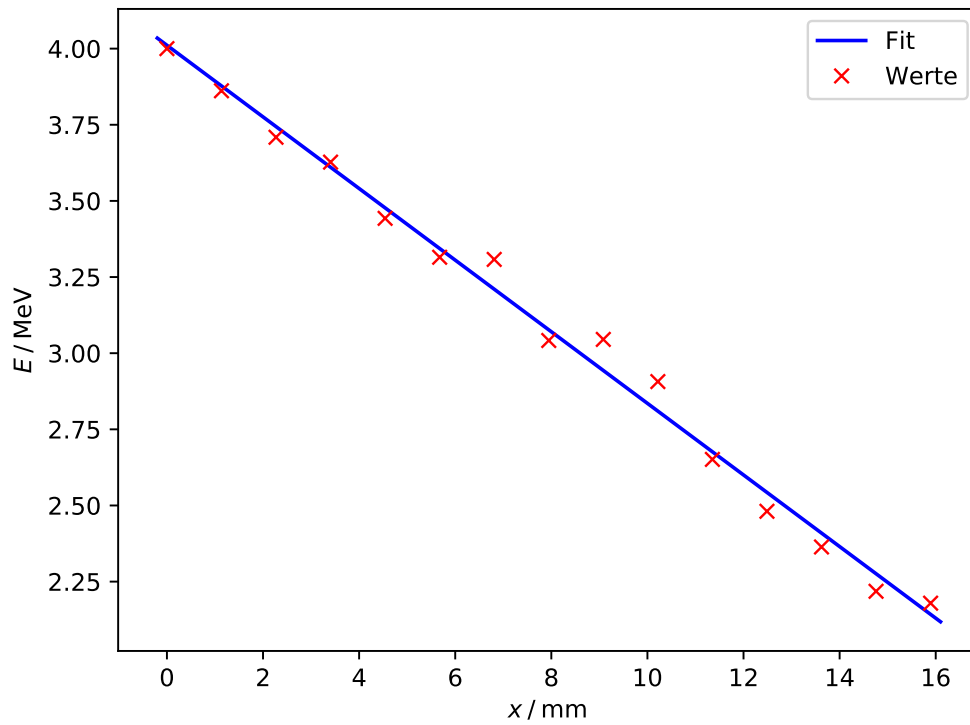


Abbildung 3: E - x -Diagramm zur Bestimmung des Energieverlustes von α -Strahlung

Eine lineare Regression $f(x) = -c \cdot x + d$ ergibt

$$c = (0,118 \pm 0,003) \frac{\text{MeV}}{\text{mm}} = \frac{dE}{dx}$$

$$d = (4,01 \pm 0,03) \text{ MeV}.$$

4.1.2 Messung 2 - $d = 24 \text{ mm}$

In Tabelle 2 befinden sich die aufgenommenen Messwerte.

Tabelle 2: Aufgenommene Messwerte im Abstand $d = 24 \text{ mm}$

p / mbar	N	Channel
0	83766	680
50	83186	664
100	83169	645
150	83080	631
200	82514	614
250	81196	602
300	82750	595
350	81462	579
400	80743	563
450	80088	548
500	80631	535
550	79327	512
600	78630	489
650	76208	471
700	74374	443
750	69713	415
800	62077	372
850	48412	333
900	31279	329
950	15255	328
1000	4785	330

Der effektive Abstand x zwischen Strahler und Detektor ergibt sich wieder aus Gleichung (6). In Abbildung 4 sind die Zählraten in Abhängigkeit vom effektiven Abstand aufgetragen.

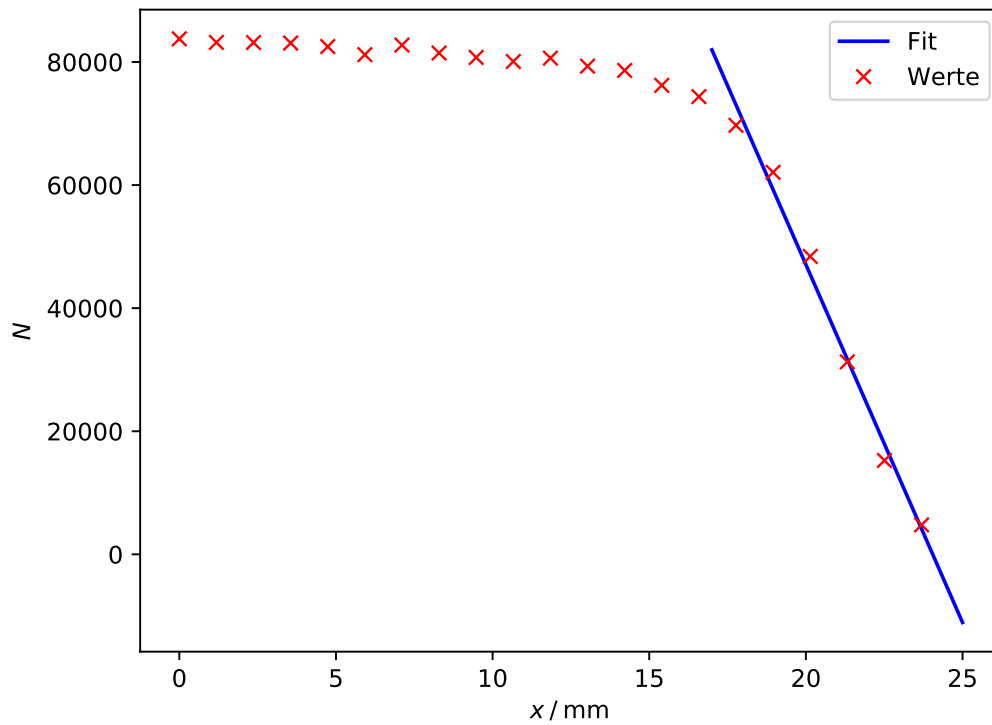


Abbildung 4: N - x -Diagramm zur Bestimmung der mittleren Reichweite von α -Strahlung

Eine lineare Regression $f(x) = -a \cdot x + b$ ergibt

$$a = (1,16 \pm 0,06) \cdot 10^4 \frac{1}{\text{mm}}$$

$$b = (2,8 \pm 0,1) \cdot 10^5$$

Die maximale Zählrate beträgt hier ungefähr $N_{\text{max}} = 81\,826$. Für die mittlere Reichweite ergibt sich nach Gleichung (7) und (8) zu

$$R_m = (20,5 \pm 1,5) \text{ mm.}$$

Der mittleren Reichweite entspricht nach Gleichung (9) und (10) einer Energie von

$$E_\alpha = (3,5 \pm 0,2) \text{ MeV.}$$

In Abbildung 5 ist die Energie gegen den effektiven Abstand aufgetragen.

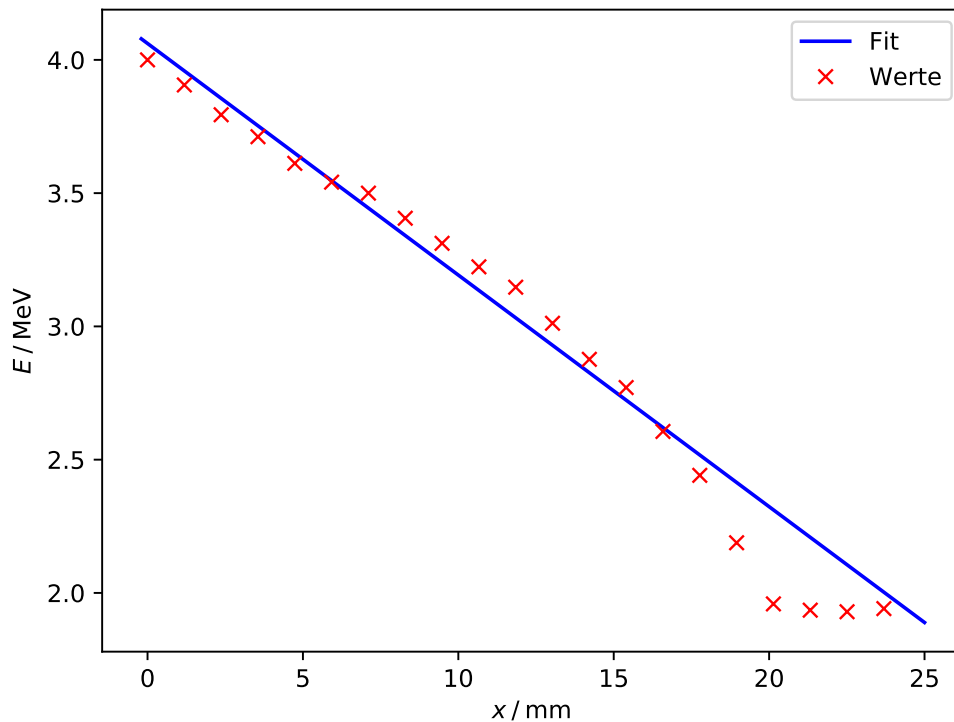


Abbildung 5: E - x -Diagramm zur Bestimmung des Energieverlustes von α -Strahlung

Eine lineare Regression $f(x) = -c \cdot x + d$ ergibt

$$c = (0,087 \pm 0,004) \frac{\text{MeV}}{\text{mm}} = \frac{dE}{dx}$$

$$d = (4,06 \pm 0,04) \text{ MeV}.$$

4.2 Statistik des radioaktiven Zerfalls

In Tabelle 3 befinden sich aufgenommenen Messwerte. Das Messintervall beträgt 10 s.

Tabelle 3: Aufgenommene Messwerte zur Bestimmung der statistischen Verteilung

N			
51	38	37	52
44	57	51	37
42	41	56	45
53	57	40	44
63	56	51	50

Tabelle 3: Aufgenommene Messwerte zur Bestimmung der statistischen Verteilung
(Fortsetzung)

N			
48	57	46	50
52	44	32	47
40	53	53	35
39	44	49	53
44	37	54	36
44	47	37	47
34	44	45	51
53	45	47	43
58	46	45	49
49	44	45	42
37	47	59	37
32	60	33	42
61	48	46	65
57	36	57	50
40	50	46	47
38	60	50	39
50	50	57	38
39	51	49	51
48	42	45	40
51	49	51	38

In Abbildung 6 sind die Zerfallsraten als Histogramm aufgetragen. Zum Vergleich sind die Gauß- und Poissonverteilung ebenfalls aufgetragen.

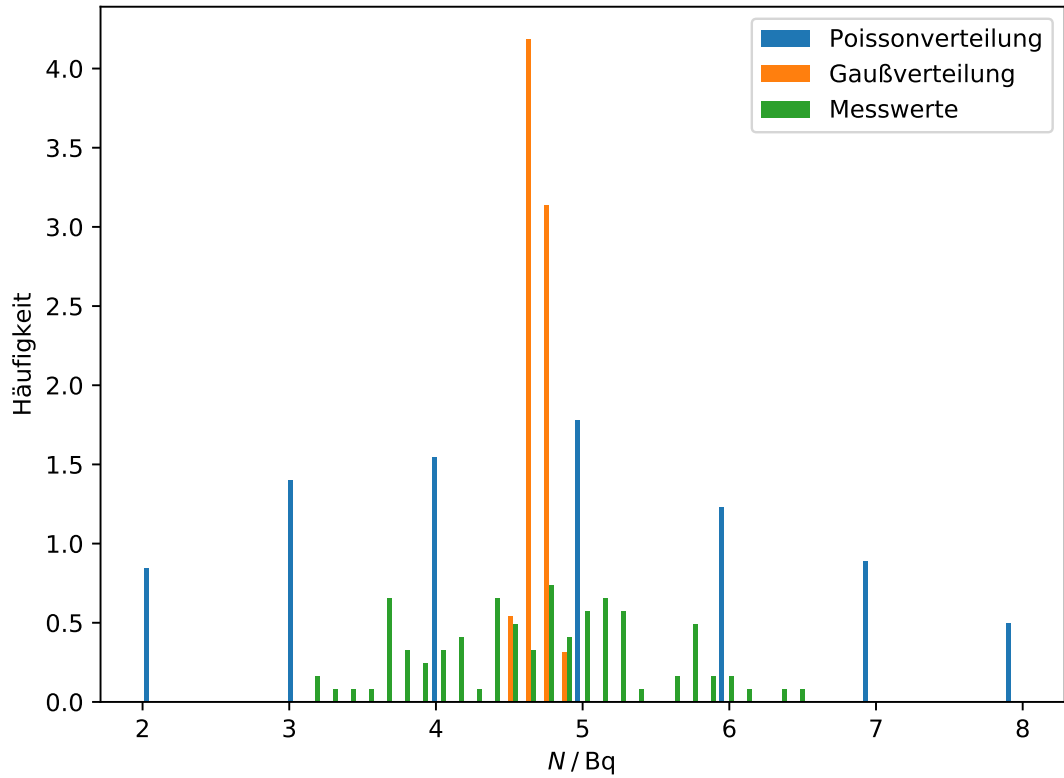


Abbildung 6: Histogramm zum Vergleich der gemessenen Zerfallsraten mit der Gauß- und Poissonverteilung

Der Mittelwert und die Standardabweichung der Werte aus Tabelle 3 ergeben sich aus Gleichung (11) und (12)

$$\bar{N} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{100} N_i \quad (11)$$

$$\sigma_{\bar{N}} = \sqrt{\frac{1}{100(100-1)} \sum_{i=1}^{100} (N_i - \bar{N})^2}. \quad (12)$$

Somit beträgt der Mittelwert

$$\bar{N} = (4,68 \pm 0,07) \text{ Bq}.$$

5 Diskussion

Die in Kapitel 4.1.1 bestimmte mittlere Reichweite weicht um 20,98 % von der mittleren Reichweite aus Kapitel 4.1.2 ab. Die Abweichung des Energieverlustes von dem Wert aus Kapitel 4.1.1 zu dem Wert aus Kapitel 4.1.2 beträgt 35,29 %. In Abbildung 6 ist aber zu

erkennen, dass die statistische Verteilung der Zerfallsraten der α -Strahlung wie erwartet eher der Poisson- statt der Gaußverteilung entspricht.

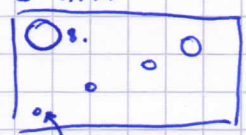
Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch V701: Reichweite von α -Strahlung*. 2018. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/Alpha.pdf>.

US2 - Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

... 3. 2. 1. oben

Breite: 8cm
Tiefe: 4cm
Höhe: 15cm
d (Hand)



Numerisierung
(anders als in Anleitung)

	oben $\Delta t / \mu s$	unten $\Delta t / \mu s$
1. 0,6cm	11	46,34
2. 0,5cm	17,14	40,63
3. 0,4cm	23,91	35,23
4. 0,3cm	29,73	29,84
5. 0,2cm	35,55	23,70
6. 0,2cm	41,58	18,09
7. "	47,19	12,17
8. 0,9cm	12,49	42,22
9. 0,2cm	53,33	6,35

Herz: $\Delta t = 47,51 \mu s$ Diastole
 $\Delta t = 34,49 \mu s$ Systole
Durchmesser Herz: 0,5cm

richt

1701 - Reichweite von α -Strahlung

d = 2,3 cm

p / mbar	0	50	100	150	200	250	300	350	400
Counts	92.567	58.947	57.532	57.965	56.132	56.827	56.955	53.724	54.801
Channel	1127	1088	1045	1022	970	934	932	857	858

450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950
53.282	47.913	43.768	39.368	35.751	32.637					
819	747	699	666	625	614					

d = 1,5 cm

p / mbar	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Counts	113.475	109.025	111.614	111.548	108.798	109.419	106.614	108.277	107.038	105.803
Channel	1131	1094	1086	1056	1022	1000	964	953	929	893

500	550	600	650	700	750	800	850	900	950
105.266	103.554	102.169	101.256	99.909	98.402	95.224	95.745	93.222	91.206
871	933	807	786	761	718	683	666	642	614

d = 20,5 cm

51|44|42|53|63|48|52|40|29|44|44|34|53|58|49|37|82|61|57|40|38|50|23|49|51|39|57|41|57|56|
57|44|53|44|37|47|44|45|46|44|47|60|48|36|50|60|50|51|42|49|37|51|56|40|51|46|32|53|49|54|
37|45|47|45|45|59|33|46|57|46|50|57|49|45|51|52|37|45|44|50|50|47|35|53|26|47|51|43|49|42|
37|42|65|50|47|29|39|51|40|39|

g.d.