TU Dortmund

V701 - Reichweite von α-Strahlung

Markus Stabrin
markus.stabrin@tu-dortmund.de

Kevin Heinicke
kevin.heinicke@tu-dortmund.de

Versuchsdatum: 21. Mai 2013

Abgabedatum: 18. Juni 2013

1 Einleitung

2 Theorie

3 Versuchsaufbau und Durchführung

4 Auswertung

Im Folgenden werden einige Mittelwerte gebildet. Bei einer Anzahl von n Messwerten x_i gilt für den Mittelwert x:

$$x = \frac{1}{n} \sum_{\mathrm{i}=0}^{n} x_\mathrm{i} \, .$$

Die Varianz σ_x dieses Wertes, bzw. dessen Fehler Δx betragen

$$\Delta x^2 = \sigma_x = \frac{1}{n-1} \sum_{\mathrm{i}=0}^{n} (x_\mathrm{i} - x)^2 \, .$$

4.1 Bestimmung der mittleren Reichweite R_m mit der entsprechenden Energie E_m

Zur Ermittlung der mittleren Reichweite R_m wird die Zählrate z gegen die effektive Länge x_eff aufgetragen. Durch die abfallende Flanke (siehe Abbildungen 1 und 2) wird eine Lineare Ausgleichsgerade der Form $z(x) = mx+b$ gelegt. Die mittlere Reichweite R_m entspricht der x-Koordinate dieser Ausgleichgerade an der Stelle der halben, maximalen Zählrate z_max.
Es gilt also

$$R_\mathrm{m} = \frac{\frac{z_\mathrm{max}}{2} - b}{m} \, .$$

Die maximale Energie E, die bei einer Messung detektiert wird, ist proportional zum gemessenen Kanal c. Mit Kenntnis der Energie E_max bei einer bestimmten länge x_eff lassen sich somit alle Energiewerte berechnen.
Die Messwerte der beiden Messungen sind in den Tabellen 1 und 2 aufgeführt. Die Werte, die zur Ausgleichsrechnung benutzt werden, sind farbig rot markiert.

Die Ausgleichsrechnung durch *python* der ersten Messreihe bei $x_{0,2} = 2{,}6\,\mathrm{cm}$ liefert

$$\begin{aligned} m_1 &= (-1120 \pm 8)\,\frac{1}{\mathrm{s\,cm}} \quad &,\quad b_1 &= (2657 \pm 16)\,\frac{1}{\mathrm{s}} \\ \Rightarrow R_{\mathrm{m},1} &= (2{,}13 \pm 0{,}02)\,\mathrm{cm} \quad &,\quad E_{\mathrm{m},1} &= (1{,}65 \pm 0{,}15)\,\mathrm{MeV}\,, \end{aligned}$$

sowie bei $x_{0,1} = 2{,}8\,\mathrm{cm}$

$$\begin{aligned} m_2 &= (-1115 \pm 60)\,\frac{1}{\mathrm{s\,cm}} \quad &,\quad b_2 &= (2648 \pm 129)\,\frac{1}{\mathrm{s}} \\ \Rightarrow R_{\mathrm{m},2} &= (2{,}14 \pm 0{,}16)\,\mathrm{cm} \quad &,\quad E_{\mathrm{m},2} &= (1{,}67 \pm 0{,}08)\,\mathrm{MeV}\,. \end{aligned}$$

Die Abbildungen 1 und 2 beinhalten die entsprechenden Kurven dieser Messung.

Tabelle 1: Messwerte bei Basislänge $x_{0,1}$ und einer Messzeit $T = 120\,\mathrm{s}$

p[mbar]	Counts	$z\left[\frac{1}{\mathrm{s}}\right]$	Channel c	E[MeV]
0	64 755	539,63	2336	4,000
100	63 966	533,05	2112	3,616
200	63 083	525,69	2047	3,505
300	62 009	516,74	1835	3,142
400	60 962	508,02	1691	2,896
450	60 035	500,29	1631	2,793
500	59 706	497,55	1536	2,630
550	58 693	489,11	1491	2,553
600	57 238	476,98	1391	2,382
650	55 828	465,23	1295	2,217
700	53 848	448,73	1023	1,752
750	50 700	422,50	984	1,685
800	42 840	357,00	844	1,445
850	25 797	214,97	727	1,245
900	8352	69,60	655	1,122
950	2920	24,33	652	1,116
1000	53	0,44	678	1,161

Tabelle 2: Messwerte bei Basislänge $x_{0,2}$ und einer Messzeit $T = 120\,\mathrm{s}$

p[mbar]	Counts	$z\left[\frac{1}{\mathrm{s}}\right]$	Channel c	E[MeV]
0	64 243	535,36	2319	4,000
100	64 005	533,38	2112	3,643
200	62 870	523,92	1999	3,448
300	61 075	508,96	1839	3,172
400	60 439	503,66	1711	2,951
450	60 471	503,93	1583	2,730
500	58 985	491,54	1543	2,661
550	57 953	482,94	1431	2,468
600	57 250	477,08	1359	2,344
650	55 154	459,62	1276	2,201
700	53 891	449,09	1103	1,903
750	49 951	416,26	1023	1,765
800	42 639	355,32	762	1,314
850	27 054	225,45	655	1,130
900	8309	69,24	652	1,125
950	2838	23,65	664	1,145
1000	49	0,41	723	1,247

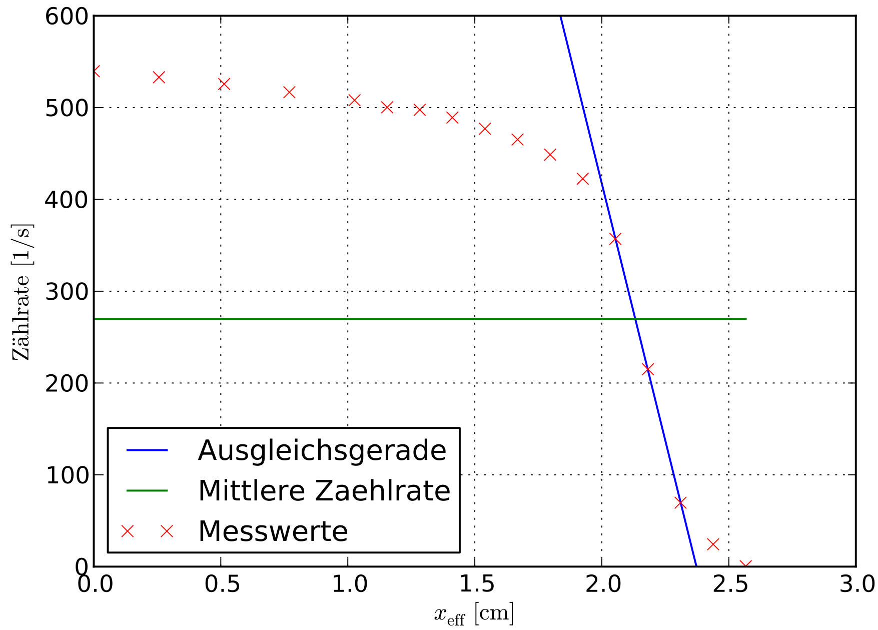

Abbildung 1: Graph zur Bestimmung der mittleren Reichweite R_{m} bei Basislänge $x_{0,1}$

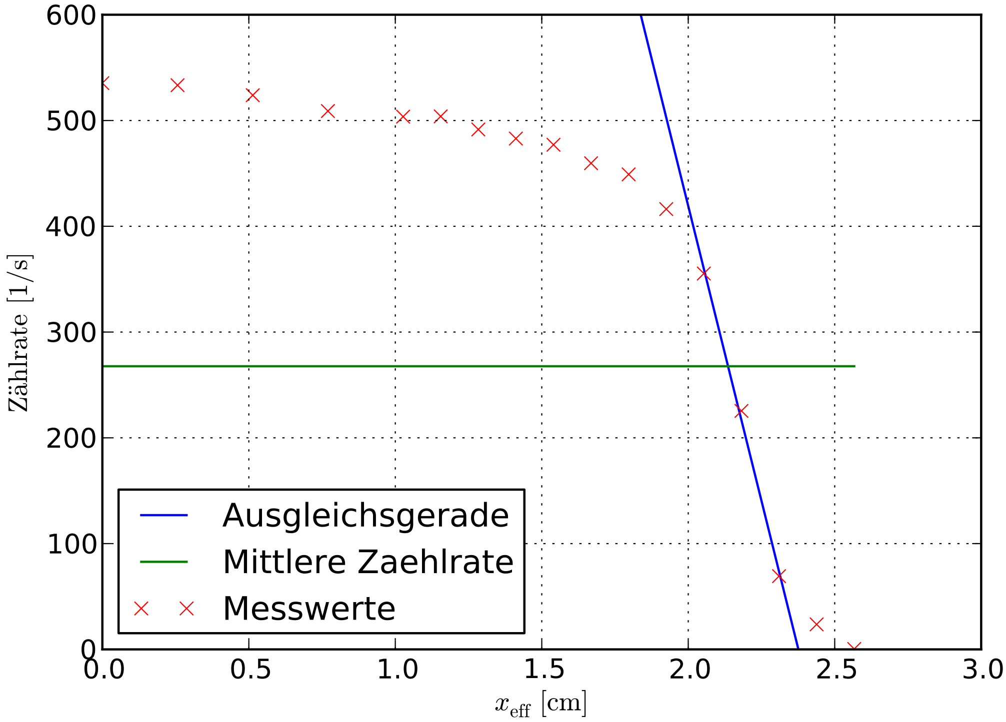

Abbildung 2: Graph zur Bestimmung der mittleren Reichweite R_{m} bei Basislänge $x_{0,2}$

4.2 Energieverlust $-\mathrm{d}E$ pro Weg $\mathrm{d}x$

Trägt man die in Tabellen 1 und 2 aufgeführten Energien E gegen die effektive Länge x_{eff} auf, lässt sich der Energieverlust $-\mathrm{d}E/\mathrm{d}x$ durch eine lineare Ausgleichsgerade der Form $E(x) = mx + b$ bestimmen. Die Steigung m entspricht hierbei dem Energieverlust $\mathrm{d}E/\mathrm{d}x$.
Die Ausgleichsrechnung durch *python* liefert

$$-\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}x} = (1{,}109\,44 \pm 0{,}006\,06)\,\frac{\mathrm{MeV}}{\mathrm{cm}}$$

für die Messung bei der Basislänge $x_{0,1}$ und

$$-\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}x} = (1{,}109\,38 \pm 0{,}003\,35)\,\frac{\mathrm{MeV}}{\mathrm{cm}}$$

für die Messung bei der Basislänge $x_{0,1}$.
Die entsprechenden Graphen sind in Abbildung 3 und 4 dargestellt. Die zur Ausgleichsrechnung benutzten Messwerte sind in Tabellen 1 und 2 blau gekennzeichnet.

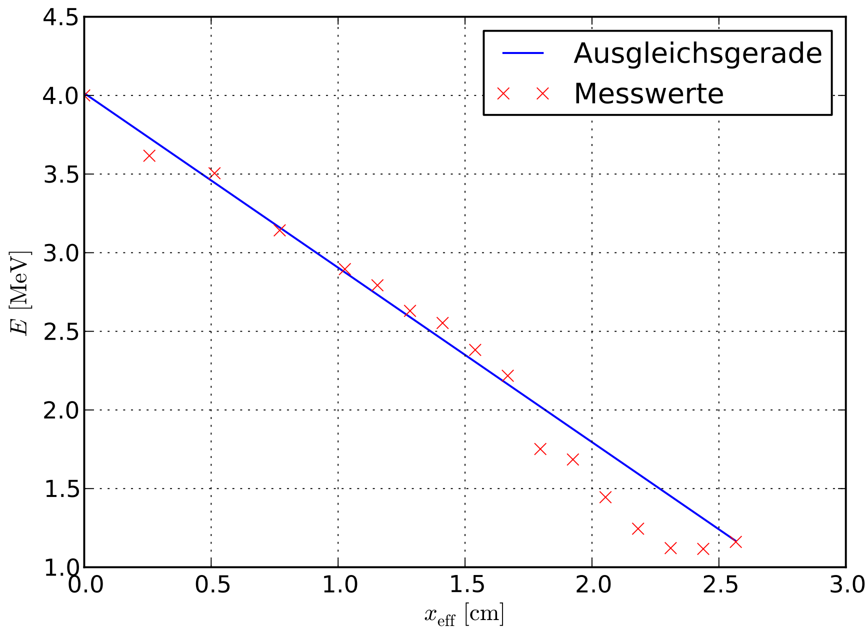

Abbildung 3: Lineare Ausgleichsgerade für Energie E und Länge x_{eff} bei einer Basislänge von $x_{0,1}$

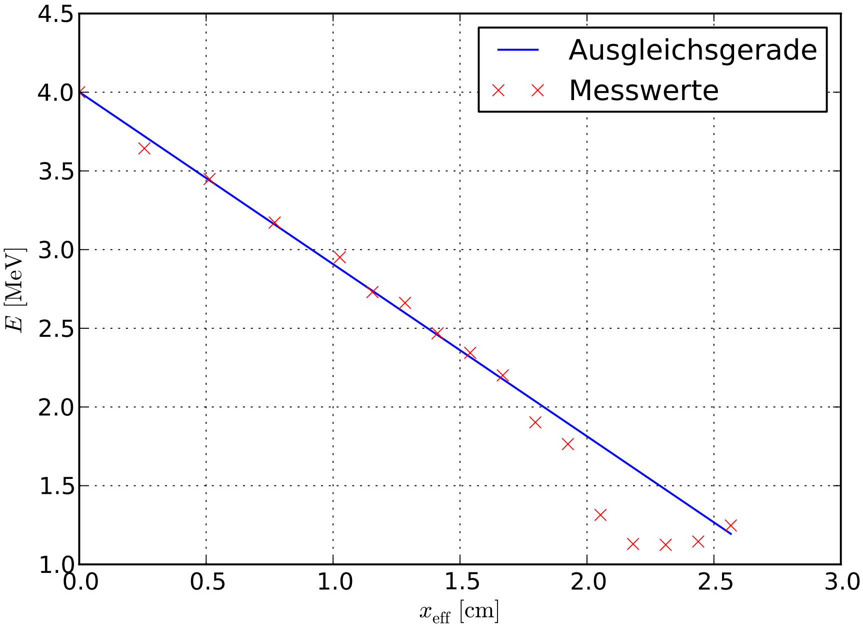

Abbildung 4: Lineare Ausgleichsgerade für Energie E und Länge x_{eff} bei einer Basislänge von $x_{0,1}$

4.3 Statistik des radioaktiven Zerfalls

Tabelle 3 enthält die Zählraten dieser Messung. Die Messwerte sind im Anhang aufgeführt. Es wurde jeweils über $T = 10\,\mathrm{s}$ gemessen. Zur Erstellung eines Histogramms wurde die Größe ΔN der Häufigkeitsbereiche auf

$$\Delta N = 9{,}75$$

festgelegt. Hierdurch erhält man acht Bereiche, in denen Zerfälle gemessen werden. Der Erwartungswert $\overline{z}$, sowie die Varianz σ_z betragen

$$\begin{aligned}\overline{z} &= 506{,}613\,\frac{1}{\mathrm{s}}\,,\\ \sigma_z &= 290{,}672\,\frac{1}{\mathrm{s}}\,.\end{aligned}$$

Die Abbildungen 5 und 6 beinhalten die Histogramme mitsamt einer Gausskurve, bzw. einer Poissonverteilung.

Tabelle 3: Messwerte zur Ermittlung der Statistik des radioaktiven Zerfalls

$z\left[\frac{1}{\mathrm{s}}\right]$									
522,1	507,0	494,0	513,6	512,2	475,3	480,3	527,8	504,5	523,9
494,0	508,0	493,3	473,1	490,5	476,2	513,8	507,5	510,4	518,9
508,4	500,4	522,1	522,2	505,2	498,5	488,8	491,9	535,1	500,7
503,4	501,2	540,2	529,4	527,1	546,4	530,9	495,3	485,1	499,5
538,1	512,0	517,3	506,3	510,9	487,5	536,0	513,7	517,6	507,8
523,1	491,8	517,6	520,1	520,2	517,8	477,0	491,1	497,7	524,8
523,3	525,1	488,3	491,9	521,1	524,1	516,7	480,3	481,2	520,7
529,8	479,6	541,0	489,8	493,1	523,9	490,1	505,1	507,1	538,1
517,4	483,0	517,0	472,6	534,2	540,2	535,0	527,0	498,0	485,0
494,0	503,7	509,1	518,3	488,5	486,0	518,9	522,2	499,9	494,0
492,2	502,8	503,2	526,4	525,5	495,7	528,6	485,2	513,7	504,2
520,9	487,5	494,6	485,2	483,7	493,1	501,8	481,2	499,4	517,5
505,3	534,8	500,6	504,8	522,8	527,5	505,7	485,9	490,5	498,8
518,5	508,0	496,4	488,3	494,2	512,9	514,8	498,2	508,6	510,4
488,4	526,5	507,7	498,7	506,1	481,5	489,2	485,3	518,5	499,7

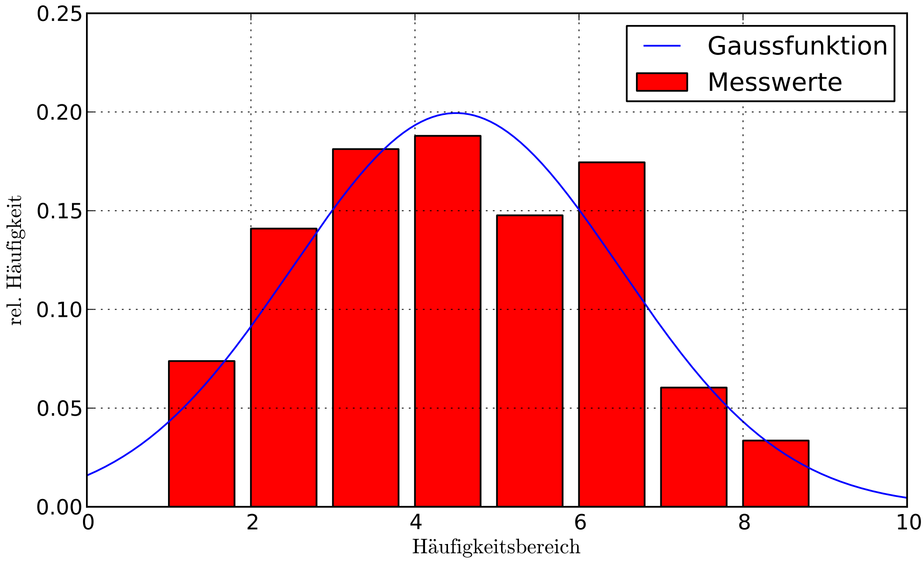

Abbildung 5: Statistik des radioaktiven Zerfalls in Gegenüberstellung zur Gausskurve

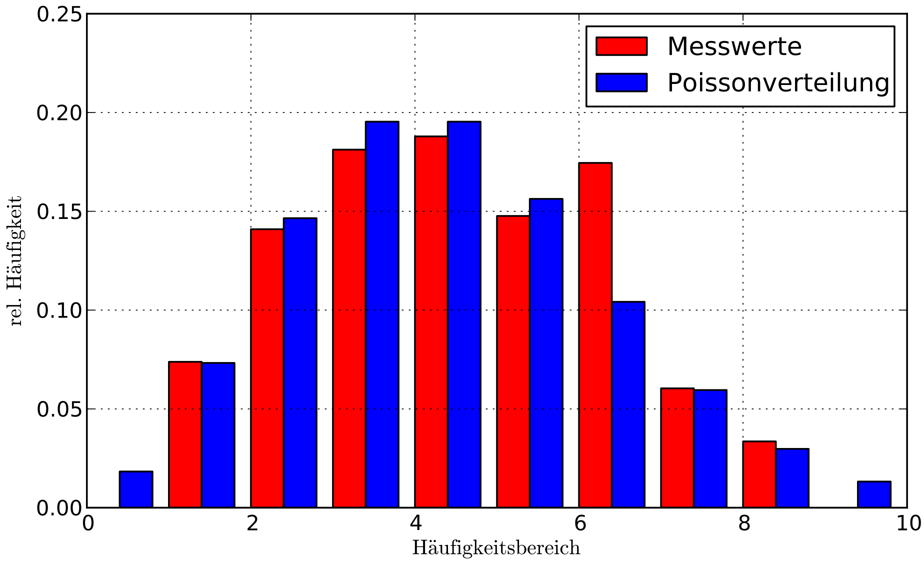

Abbildung 6: Statistik des radioaktiven Zerfalls in Gegenüberstellung zur Poissonverteilung

5 Diskussion

Die hier bestimmten mittleren Reichweiten

$$\begin{aligned} R_{\mathrm{m},1} &= (2{,}13 \pm 0{,}02)\,\mathrm{cm} \\ R_{\mathrm{m},2} &= (2{,}14 \pm 0{,}16)\,\mathrm{cm} \end{aligned}$$

stimmen unter Berücksichtigung des Fehlers überein. Das deutet auf eine realtiv gute Bestimmung dieses Wertes hin. Für eine belastbare Aussage wurden jedoch zu wenig Messungen durchgeführt.
Dies trifft auch auf die Werte der Energieabnahme $-\mathrm{d}E/\mathrm{d}x$ zu. Unter Berücksichtigung der Fehler stimmen sie ebenfalls überein.
Der Vergleich des Histogrammes mit der Gauß- bzw. Poissonverteilung (siehe Abbildungen 5 und 6) passt in beiden Fällen recht gut. Der hier Ermittelte Wert in Bereich 6 fällt lediglich aus dem Rahmen. Zudem ist festzuhalten, dass das Histogramm stark von der Wahl der Bereichsbreite ΔN abhängt. Bei kleinerer Breite ΔN sind die einzelnen Werte des Histogramms in der Nähe des Erwartungswertes starken Schwankungen unterzogen. Hier hätte der Datenumfang wesentlich größer sein müssen.
Bei größeren Breiten ΔN veringert sich die Balkenzahl so sehr, dass sie nur noch schlecht mit einer Gaußkurve oder Poissonverteilung verglichen werden kann.

Literatur

[1] Physikalisches Anfängerpraktikum der TU Dortmund: Versuch V701 - Reichweite von alpha-Strahlung. `http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V701.pdf`. Stand: Juni 2013.