

Physiklabor für Anfänger*innen
Ferienpraktikum im Wintersemester 2019/2020

Versuch 85: Schwächung von γ -Strahlung

Gruppe

(durchgeführt am bei)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
1 Ziel des Versuchs	5
2 Benutzte Gleichungen	5
3 Aufbau und Durchführung	6
3.1 Aufbau	6
3.2 Durchführung	6
4 Messung	7
4.1 Zählrohrcharakteristik	7
4.2 Untergrundmessung	7
4.3 Schwächung von γ -Strahlung	7
5 Auswertung	8
5.1 Zählrohrcharakteristik	8
5.2 Bestimmung des Untergrunds	8
5.3 Schwächung von γ -Strahlung	9
6 Diskussion	15
6.1 Zählrohrcharakteristik	15
6.2 Untergrundmessung	15
6.3 Schwächung von γ -Strahlung	15
7 Anhang	18
Literaturverzeichnis	21

Abbildungsverzeichnis

1	Zählrohrcharakteristik des Geiger-Müller-Zählrohrs	8
2	Zählraten Aluminium mit Exponentialfit	9
3	Zählraten Kupfer mit Exponentialfit	10
4	Zählraten Blei mit Exponentialfit	10
5	logarithmierte Zählraten Aluminium mit linearer Regression . . .	11
6	logarithmierte Zählraten Aluminium mit linearer Regression . .	12
7	Zählraten Blei mit linearer Regression	12
8	Massenschwächungskoeffizienten gegen die Energie	14
9	Laborheftseite 1	18
10	Laborheftseite 2	19
11	Laborheftseite 3	20

Tabellenverzeichnis

1	Caption	13
---	-------------------	----

1 Ziel des Versuchs

Ziel des Versuchs ist es zunächst die Zählrohrcharakteristik eines Geiger-Müller-Zählrohrs zu bestimmen und daraus den Arbeitspunkt des Zählrohrs zu ermitteln. Anschließend soll die Abschwächung von γ -Strahlung durch Aluminium, Kupfer und Blei untersucht werden, indem der Schwächungskoeffizient und der Massenschwächungskoeffizient sowie die Energie der γ -Strahlung berechnet werden.

2 Benutzte Gleichungen

Für eine Anzahl N an γ -Quanten, die auf ein Absorberblech der Dicke z und des Schwächungskoeffizienten μ trifft, gilt nach dem Durchqueren des Absorbers für die Anzahl das folgende Schwächungsgesetz:

$$N(z) = N_0 \cdot \exp(-\mu z) \quad (1)$$

Aus dem Schwächungskoeffizienten und der Dichte erhält man den Massenschwächungskoeffizienten μ^* wie folgt:

$$\mu^* = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

Damit lässt sich das Schwächungsgesetz wie folgt schreiben:

$$N(z) = N_0 \cdot \exp(-\mu^* \rho z) \quad (3)$$

3 Aufbau und Durchführung

3.1 Aufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus einem radioaktiven Präparat, das in einer Bleiabschirmung liegt. Bei der radioaktiven Quelle handelt es sich um ein Cäsiumisotop $^{137}_{55}\text{Cs}$, welches ein Elektron aussendet und sich somit in einen angeregten Barium-Kern $^{137}_{56}\text{Ba}$ umwandelt. Dieser geht nach seiner mittleren Lebensdauer von 2,5 Minuten unter Aussendung eines γ -Quants der Energie 0,7 MeV wieder in seinen Grundzustand über. Die γ -Strahlung, kann durch ein enges Loch aus der Bleiabschirmung austreten und trifft auf das Geiger-Müller-Zählrohr. Zwischen Zählrohr und Präparat besteht die Möglichkeit verschiedene Absorberbleche oder einen großen Bleiblock einzuschieben, um die Strahlung teilweise oder vollständig abzuschirmen. Das Zählrohr ist an einen Counter angeschlossen, bei dem die Zeitintervalle beziehungsweise die Anzahl an gewünschten Impulsen eingestellt werden kann. An einem Netzgerät, welches auch mit dem Zählrohr verbunden ist kann man die Zählrohrspannung U_A regulieren.

3.2 Durchführung

Zu Beginn des Versuchs soll die Zählrohrcharakteristik des Geiger-Müller-Zählrohrs aufgenommen werden. Dazu wird der Bleiblock zwischen Radioaktiver Probe und Zählrohr entfernt und es wird in 5 V-Schritten und in einem Zeitintervall von 15 s die Anzahl der auftretenden Counts gemessen. Anschließend wird eine Untergrundmessung durchgeführt, bei der der Bleiblock wieder zwischen Radioaktive Quelle und Zählrohr geschoben wird und in einem Zeitintervall von 360 s die Anzahl der Counts gemessen. Die Untergrundmessung wird insgesamt vier mal durchgeführt, dazwischen wird die Abschwächung von γ -Strahlung mit unterschiedlichen Materialien gemessen, indem Absorberplatten nach und nach zwischen die Radioaktive Quelle und das Zählrohr gelegt werden und jeweils das Zeitintervall gemessen indem 1100 Counts auftreten. Dies wird für Aluminium, Kupfer und Blei durchgeführt.

4 Messung

4.1 Zählrohrcharakteristik

Für die Bestimmung der Zählrohrcharakteristik wird ein Zeitintervall von $\Delta t = 15$ s eingestellt. Auf die gemessenen Spannungswerte und auf die Counts werden folgende Unsicherheiten angenommen:

$$s_{U_A} = 0,5 \text{ V} \quad (4)$$

$$s_N = \sqrt{N} \quad (5)$$

Die gemessenen Werte für Spannung und Anzahl der Counts sind in [Abschnitt 7](#) aufgeführt.

4.2 Untergrundmessung

Für die Untergrundmessung wird ein Zeitintervall von $\Delta t = 360$ s gewählt, es werden jeweils 4 Messungen durchgeführt und die Anzahl der Counts aufgenommen. Die Messung wird mit einer Zählrohrspannung von $U_A = 640$ V durchgeführt. Die gemessenen Werte befinden sich in [Abschnitt 7](#). Wobei die Unsicherheiten von Spannung und Counts analog zu [Gleichung 4](#) abgeschätzt werden.

4.3 Schwächung von γ -Strahlung

Für den letzten Versuchsteil werden folgende Unsicherheiten angenommen:

$$s_{U_A} = 0,5 \text{ V} \quad (6)$$

$$s_d = 0,05 \text{ mm} \quad (7)$$

Es werden für eine Spannung von $U_A = 640$ V und die voreingestellte Anzahl an 1100 Counts jeweils die Zeit, die benötigt wird, um die Anzahl an Counts zu erreichen und die Dicke der zwischen Quelle und Zählrohr geschobenen Absorberplättchen notiert.

5 Auswertung

5.1 Zählrohrcharakteristik

Die Zählrohrcharakteristik für die gemessenen Werte von Counts N und Spannung U_A im folgenden Schaubild dargestellt:

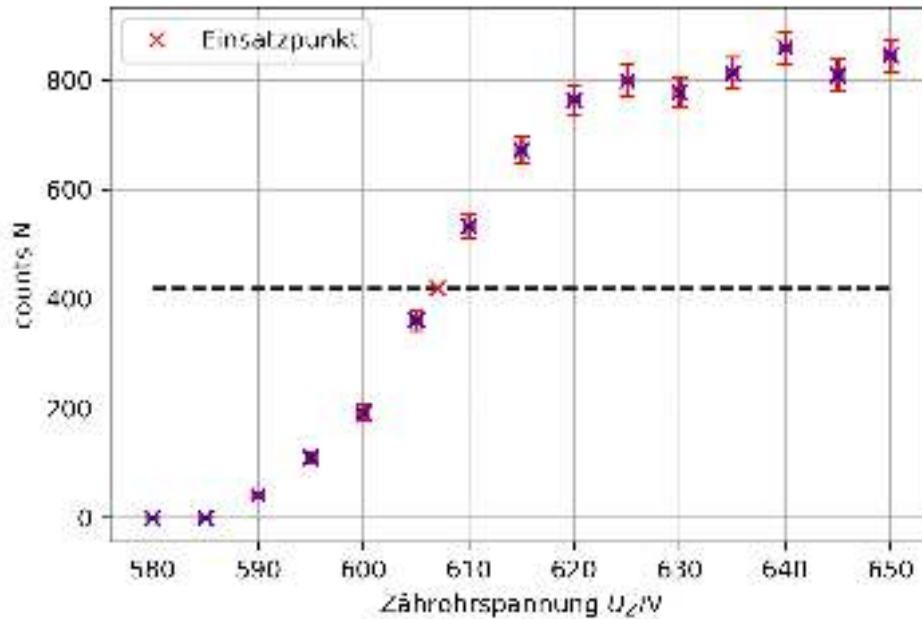


Abbildung 1: Zählrohrcharakteristik des Geiger-Müller-Zählrohrs, mit eingezeichneten Fehlerbalken und abgeschätzter Einsatzspannung

Die Fehlerbalken werden aus den abgeschätzten Unsicherheiten aus [Gleichung 4](#) berechnet. Für die Einsatzspannung wurde folgender Wert graphisch bestimmt:

$$U_{\text{Ein}} = (607 \pm 3) \text{ V} \quad (8)$$

In den folgenden Messungen wird immer mit einer Zählrohrspannung von $U_A = 640 \text{ V}$ gerechnet, da sie nach optischer Abschätzung in der Mitte des Plateaus liegt.

5.2 Bestimmung des Untergrunds

Um die Zählrate des Untergrunds zu bestimmen, werden die jeweiligen gemessenen Counts N addiert und durch die gesamte gemessene Zeit dividiert. Daraus ergibt sich:

$$\dot{N}_U = \frac{\sum N}{\sum t} = \frac{N_{\text{sum}}}{\sum t} = (1,12 \pm 0,03) \frac{1}{\text{s}} \quad (9)$$

Die statistische Unsicherheit berechnet sich dabei aus dem Fehler der Counts durch Gaußsche Fehlerfortpflanzung folgendermaßen:

$$s_{\dot{N}_U} = \frac{s_{N_{\text{sum}}}}{\sum t} \quad (10)$$

Die systematische Unsicherheit ist vernachlässigbar klein und wird deswegen nicht in der Auswertung berücksichtigt.

5.3 Schwächung von γ -Strahlung

Bei den drei durchgeführten Messreihen ist der Untergrund von den berechneten Zählraten abgezogen. Dabei wurden die dazugehörigen Fehler wie folgt berechnet:

$$\dot{N} = \dot{N}_{\text{mess}} - \dot{N}_U \quad (11)$$

$$s_{\dot{N}} = \sqrt{s_{\dot{N}_{\text{mess}}}^2 + s_{\dot{N}_U}^2} \quad (12)$$

Die Werte sind in den folgenden Schaubildern dargestellt. Zusätzlich ist jeweils ein Exponentialfit und die Fehlerbalken der Zählrate eingezeichnet, wobei auf die Fehlerbalken der Dicke zugunsten der Übersichtlichkeit verzichtet wurde.

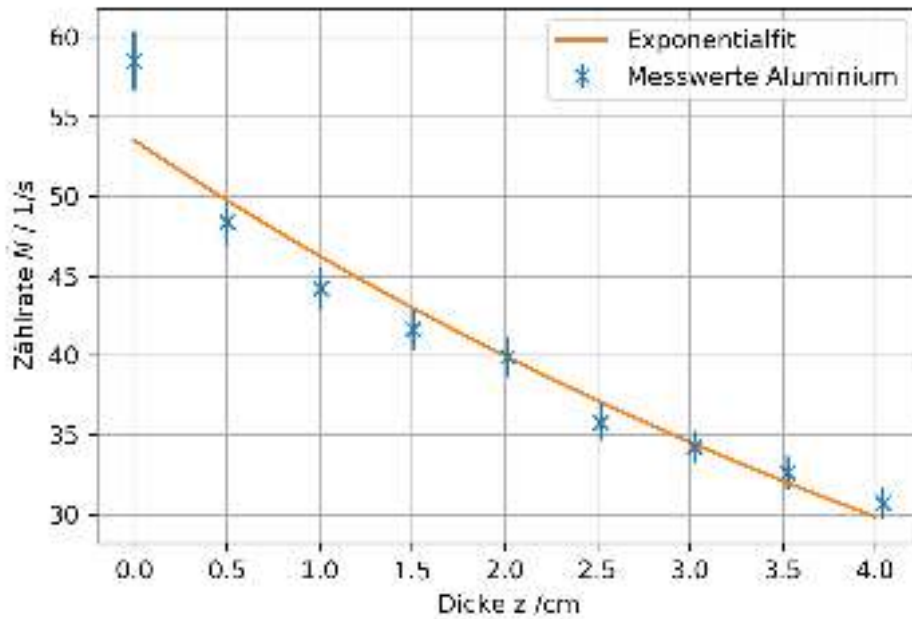


Abbildung 2: Zählrate $\dot{N}$ gegen die Dicke der Aluminiumabsorberbleche mit Fehlerbalken der Zählrate und Exponentialfit

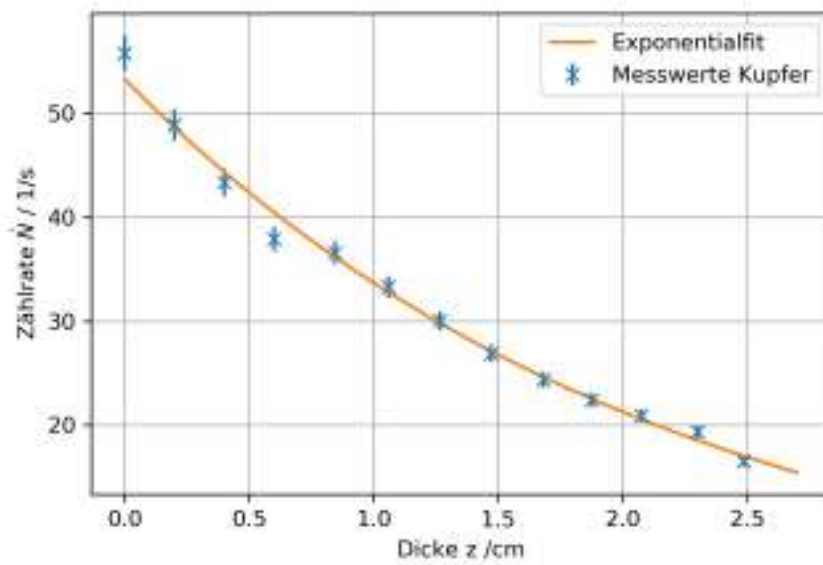


Abbildung 3: Zählrate $\dot{N}$ gegen die Dicke der Kupferabsorberbleche mit Fehlerbalken der Zählrate und Exponentialfit

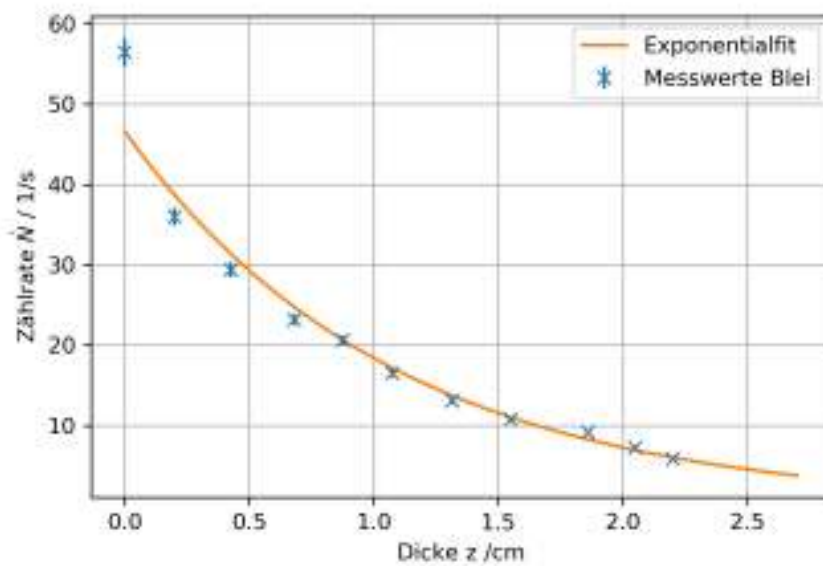


Abbildung 4: Zählrate $\dot{N}$ gegen die Dicke der Bleiabsorberbleche mit Fehlerbalken der Zählrate und Exponentialfit

Da in den drei Schaubildern ein klarer exponentieller Abfall erkennbar ist, der auch aus dem Schwächungsgesetz (vgl. [Gleichung 1](#)) erwartet wird, wird der natürliche Logarithmus der Zählraten berechnet. Hierbei wird der Fehler der logarithmierten Werte folgendermaßen durch Gaußsche Fehlerfortpflanzung berechnet:

$$s_{\ln(\dot{N})} = \frac{s\dot{N}}{\dot{N}} \quad (13)$$

Für alle drei Messreihen wird eine lineare Regression durchgeführt, die zusätzlich zu den logarithmierten Werten mit Fehlerbalken in den folgenden drei Schaubildern dargestellt ist.

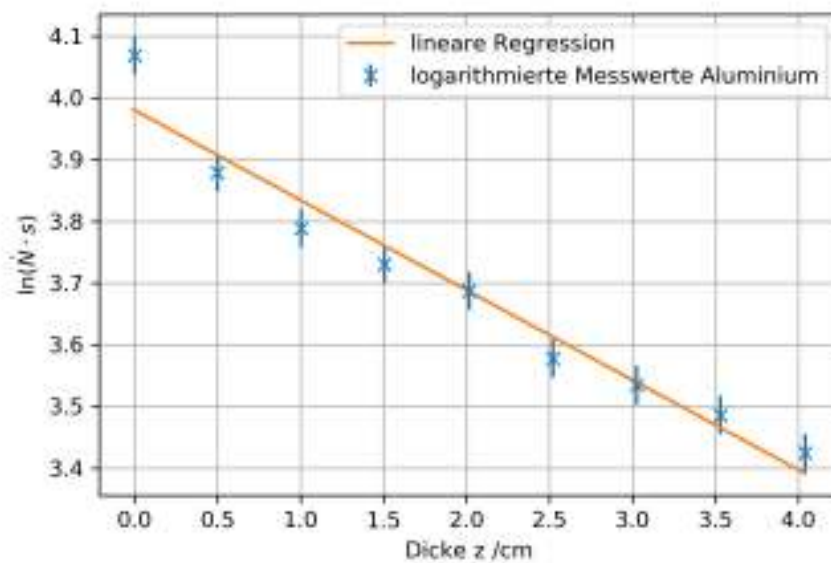


Abbildung 5: logarithmierte Zählrate $\dot{N}$ gegen Dicke der Aluminiumabsorberbleche mit Fehlerbalken und durch lineare Regression erhaltene Ausgleichsgerade

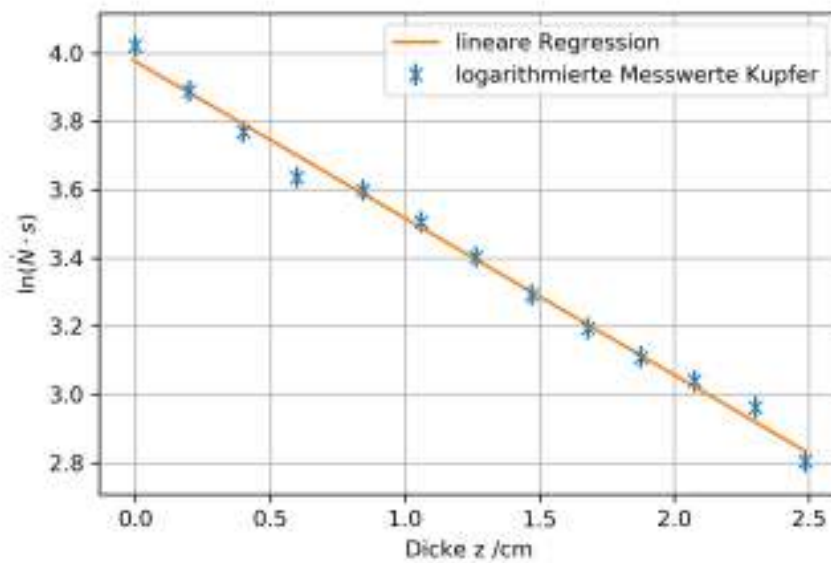


Abbildung 6: logarithmierte Zählrate $\dot{N}$ gegen Dicke der Kupferabsorberbleche mit Fehlerbalken und durch lineare Regression erhaltene Ausgleichsgerade

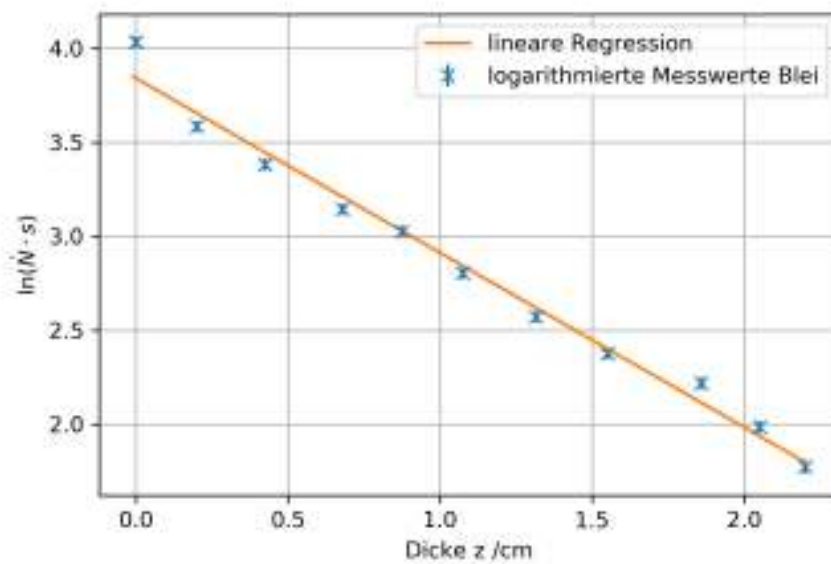


Abbildung 7: logarithmierte Zählrate $\dot{N}$ gegen die Dicke Bleiabsorberbleche mit Fehlerbalken und durch lineare Regression erhaltene Ausgleichsgerade

Aus der linearen Regression ergibt sich jeweils der y-Achsenabschnitt und die Steigung. Hierbei wird nach [Gleichung 1](#) folgender Zusammenhang vermutet:

$$\ln(\dot{N}(z) \cdot s) = \ln(\dot{N}_0 \cdot s) - \mu z \quad (14)$$

Da $\ln(\dot{N}(z))$ über z aufgetragen wird, wird erwartet, dass der y-Achsenabschnitt dem logarithmierten Anfangsbestand $\ln(\dot{N}_0 \cdot s)$ und der Betrag der Steigung dem Schwächungskoeffizienten μ entspricht. Für die drei Messreihen ergeben sich demnach folgende Werte:

	$\ln(\dot{N}_0 \cdot s)$	$\mu / \frac{1}{\text{cm}}$
Aluminium	$3,98 \pm 0,03$	$0,146 \pm 0,012$
Kupfer	$3,976 \pm 0,016$	$0,459 \pm 0,011$
Blei	$3,84 \pm 0,05$	$0,9284 \pm 0,04$

Tabelle 1: Caption

Daraus lassen sich mit den vorgegebenen Dichten ($\rho_{\text{Al}} = 2,70 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, $\rho_{\text{Cu}} = 8,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ und $\rho_{\text{Pb}} = 11,34 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ - vgl. Quelle [\[1\]](#)) nach [Gleichung 2](#) die Massenschwächungskoeffizienten μ^* berechnen:

$$\mu_{\text{Al}}^* = (0,054 \pm 0,004) \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \quad (15)$$

$$\mu_{\text{Cu}}^* = (0,0512 \pm 0,0012) \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \quad (16)$$

$$\mu_{\text{Pb}}^* = (0,0818 \pm 0,0030) \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \quad (17)$$

$$(18)$$

Die Fehler berechnen sich dabei folgendermaßen durch Gaußsche Fehlerfortpflanzung:

$$s_{\mu^*} = \frac{s_{\mu}}{\rho} \quad (19)$$

Um die Energie der γ -Strahlung zu bestimmen, wird folgendes Schaubild aus Quelle [\[1\]](#) betrachtet:

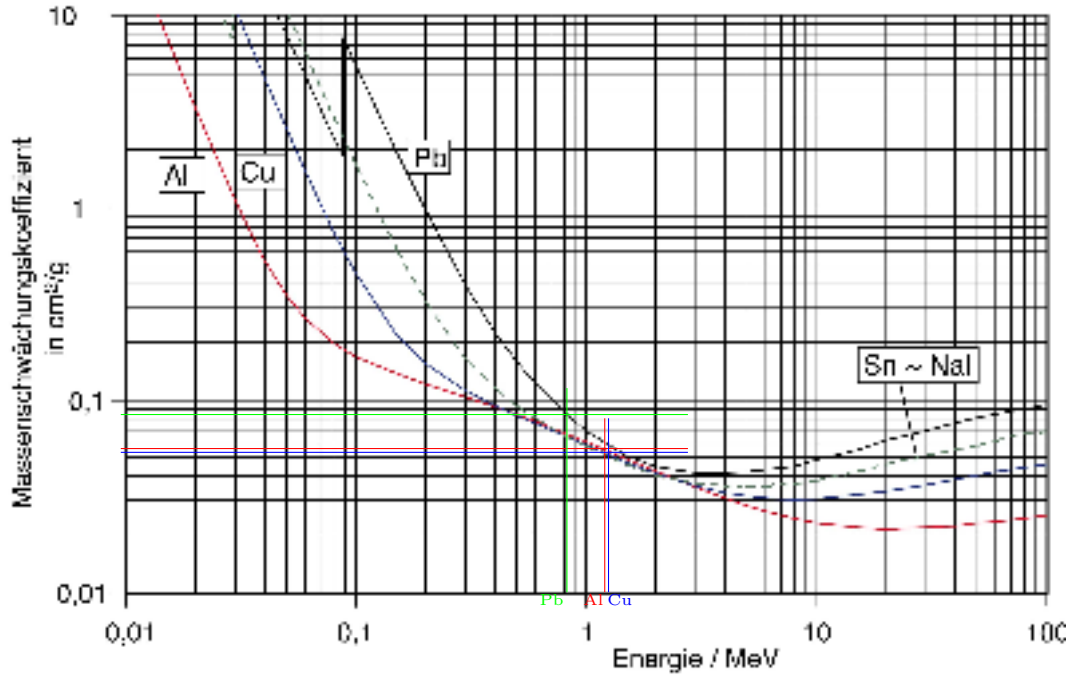


Abbildung 8: Verlauf der Massenschwächungskoeffizienten gegen die Energie aus Quelle [1] mit zusätzlich eingezeichneten Werten der Energien für die bestimmten Massenschwächungskoeffizienten von Aluminium, Kupfer und Blei

Aus dem Schaubild werden folgende Werte für die Energie der γ -Strahlung für die drei Materialien abgelesen.

$$E_{\gamma, \text{Al}} = (1,2 \pm 0,2) \text{ MeV} \quad (20)$$

$$E_{\gamma, \text{Cu}} = (1,25 \pm 0,10) \text{ MeV} \quad (21)$$

$$E_{\gamma, \text{Pb}} = (0,85 \pm 0,05) \text{ MeV} \quad (22)$$

Hierbei werden beim Abschätzen der Unsicherheiten für die Energiewerte auch die Unsicherheiten der Werte für μ^* berücksichtigt. Was dazu führt, dass die letztendlich verwendete Unsicherheit größer ist, als die Ablesegenauigkeit vermuten lässt. Da für alle Messungen die gleiche Quelle genutzt wird, sollte die Energie für alle Messreihen die gleiche sein, weswegen wir im folgenden den Mittelwert der abgelesenen Energien berechnen:

$$\overline{E}_{\gamma} = (1,09 \pm 0,08) \text{ MeV} \quad (23)$$

Die Unsicherheit wird dabei wie folgt berechnet:

$$s_{\overline{E}_{\gamma}} = \frac{1}{3} \sqrt{s_{E, \text{Al}}^2 + s_{E, \text{K}}^2 + s_{E, \text{Pb}}^2} \quad (24)$$

6 Diskussion

6.1 Zählrohrcharakteristik

In [Abbildung 1](#) ist der Verlauf der Zählrohrcharakteristik für das benutzte Geiger-Müller-Zählrohr zu sehen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die gemessenen Counts bei steigender Spannung am Anfang stark zunehmen und ab einer Zählrohrspannung von etwa 620 V relativ konstant bleiben. Außerdem wurde für den Einsatzpunkt des Spektrums der Wert $U_{\text{Ein}} = (607 \pm 3) \text{ V}$ abgeschätzt. Obwohl der konstante Bereich etwas von Schwankungen geprägt ist, kann er dennoch als Plateaubereich erkannt werden. Außerdem fällt auf, dass erst ab einer Spannung von 590 V überhaupt Counts gemessen werden. Hier wird vermutet, dass das Zählrohr, das für unsere Messung verwendet wurde in einen anderen Spannungsbereich misst als erwartet.

6.2 Untergrundmessung

Für die Zählrate der Untergrundmessung wurde folgender Wert berechnet:

$$\dot{N}_{\text{U}} = (1,12 \pm 0,03) \frac{1}{\text{s}} \quad (25)$$

Betrachtet man die Einzelmessung so fällt auf, dass die Zählrate über die gesamte Versuchsdauer hinweg abgenommen hat. Dieser Effekt wurde jedoch als vernachlässigbar eingestuft, da die gemessenen Einzelwerte immernoch sehr nah beieinander liegen.

6.3 Schwächung von γ -Strahlung

Der nach [Gleichung 1](#) erwartete exponentielle Verlauf ist in [Abbildung 2](#), [Abbildung 3](#) und [Abbildung 4](#) gut zu erkennen, was auch durch die eingezeichneten Exponentialfits deutlich gemacht wird. Somit lässt sich der vermutete Zusammenhang bestätigen.

Die durch den Versuch erhaltenen Werte für die Energie der γ -Strahlung liegen bei:

$$E_{\gamma, \text{Al}} = (1,2 \pm 0,2) \text{ MeV} \quad (26)$$

$$E_{\gamma, \text{Cu}} = (1,25 \pm 0,10) \text{ MeV} \quad (27)$$

$$E_{\gamma, \text{Pb}} = (0,82 \pm 0,05) \text{ MeV} \quad (28)$$

Und der daraus berechnete Mittelwert ist:

$$\overline{E}_{\gamma} = (1,09 \pm 0,08) \text{ MeV} \quad (29)$$

Die erwartete Energie der γ -Strahlung liegt nach Quelle [1] bei: $E_{\gamma,\text{lit}} = 0,7 \text{ MeV}$. Berechnet man die Abweichung in Einheiten der Standardunsicherheit, erhält man:

$$t = \frac{|E_{\gamma,\text{lit}} - \overline{E}_{\gamma}|}{s_{\overline{E}_{\gamma}}} = 5 \quad (30)$$

Die beiden Werte sind demnach nicht miteinander verträglich. Es fällt auf, dass bereits alle Einzelenergiewerte größer als der Literaturwert sind. Dies spricht für einen systematischen Fehler, der möglicherweise bei der Messung des Untergrunds aufgetreten ist, aber als vernachlässigbar eingeschätzt wurde. Eine weitere Möglichkeit könnte sein, dass die Absorberplättchen wegen ihren Unebenheiten beim messen eine größere Dicke ergeben haben, als die effektiv absorbierende Dicke. Vor allem die Werte für Kupfer weichen sehr stark vom erwarteten Wert ab, was sich auch durch dieses Phänomen erklären lässt, da die Kupferplättchen die größten Unebenheiten aufwiesen.

7 Anhang

Versuch 15: Schwächung von γ -Strahlung

Zählrohrcharakteristik Zeitintervall $\Delta t = 15\text{s}$

<u>Zählrohrspannung U_Z/V</u>	<u>Counts</u>	<u>U_Z/V</u>	<u>Counts</u>
580	0	610	532
585	0	615	672
590	42	620	764
595	110	625	793
600	192	630	778
605	361	635	813
		640	853
		645	803
		650	844

Untergrundmessung

Zählrohrspannung: $U_Z = 640\text{V}$

<u>Messbeginn</u>	<u>Zeitintervall /s</u>	<u>Counts</u>
10:21	360	431
10:42	360	402
11:00	360	401
11:31	360	378

Unsicherheiten

$$\Delta d = 0,05\text{mm}$$

$$\Delta U_Z = 0,5\text{V}$$

Abbildung 9: Laborheftseite 1

Aluminium			
Voreingestellte Anzahl am Counts: $N=1100$			
Anzahl der Platten	Dicke/mm	Zeit/s	Zählrohrspannung: 0-6kV
0	0,00	18,45	
1	5,00	22,22	
2	10,05	24,27	
3	15,05	25,71	
4	20,15	26,80	
5	25,20	29,80	
6	30,25	31,08	
7	35,30	32,57	
8	40,40	34,56	

Kupfer			
Voreingestellte Anzahl Counts: $N=1100$			
Anzahl der Platten	Dicke/mm	Zeit/s	Zählrohrspannung: 0-6kV
0	0,00	18,33	
1	2,00	22,00	
2	4,00	24,74	
3	6,00	28,18	
4	8,45	29,19	
5	10,60	31,57	
6	12,65	35,31	
7	14,70	39,27	
8	16,80	43,13	
9	18,75	46,75	
10	20,75	49,54	
11	23,00	53,76	
12	24,85	62,38	

Abbildung 10: Laborheftseite 2

Vorgegebene Anzahl Counts: 10000
Zählrohrspannung: 1200V

<u>Blei</u> Anzahl Platten	Dicke/mm	Zeitraum	
0	0,00	13,11	
1	2,00	22,08	29,63
2	4,25	23,33	36,05
3	6,80	24,28	45,21
4	8,75	24,66	50,58
5	10,75	26,56	62,36
6	13,15	27,80	77,42
7	15,50	32,45	
8	18,60	106,73	
9	20,50	130,85	
10	22,00	156,78	

Die durchgestrichene Werte wurden nicht berücksichtigt,
da wir gemerkt haben, dass die Blei-Platten nicht
die Austrittsöffnung bedeckt haben.

Handwritten signature
18.10

Abbildung 11: Laborheftseite 3

Literaturverzeichnis

- [1] o.V.: *Versuchsanleitungen zum Physiklabor für Anfänger*innen, Teil 2.* 2019