

Prak.: P2 Semester: SS20 Wochentag: B Gruppennr.: 12

Name: Hohenstein Vorname: Michael

Name: Michel Vorname: Alexis

Emailadresse(n): alexis.michel@gmx.de, michael.hohenstein@gmx.de

Versuch: Absorption radioaktiver Strahlung (P2-80) Fehlerrech.: Nein

Betreuer: Isabel Haide Durchgeführt am: 14.08.

Wird vom Betreuer ausgefüllt.

1. Abgabe am: \_\_\_\_\_

Rückgabe am: \_\_\_\_\_ Begründung:

2. Abgabe am: \_\_\_\_\_

Ergebnis: + / 0 / - Fehlerrechnung: Ja / Nein

Datum: \_\_\_\_\_ Handzeichen: \_\_\_\_\_

Bemerkungen:



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Radioaktive Strahlung . . . . .	1
1.1.1	$\alpha$ Strahlung . . . . .	1
1.1.2	$\beta$ Strahlung . . . . .	1
1.1.3	$\gamma$ Strahlung . . . . .	1
1.1.4	Messung radioaktiver Strahlung . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Geiger-Müller-Zählrohr Eigenschaften</b>	<b>3</b>
2.1	Eingangsspannung und Plateauanstieg . . . . .	3
2.2	Nulleffekt bestimmen . . . . .	4
2.3	Totzeitermittlung nach der Zwei-Präparate-Methode . . . . .	5
2.4	Überprüfen des Abstandsgesetzes . . . . .	6
2.5	Ausblick . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Absorptionsmessungen</b>	<b>9</b>
3.1	$\alpha$ -Absorption . . . . .	9
3.2	$\beta$ -Absorption . . . . .	11
3.3	$\gamma$ -Absorption . . . . .	15
3.3.1	Absorptionskurve von Blei . . . . .	15
3.3.2	Absorptionsvermögen unterschiedlicher Materialien . . . . .	17
3.4	Ausblick . . . . .	18
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>19</b>

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Skizze: Aufbau Geiger-Müller-Zählrohr . . . . .	2
1.2	Skizze: E-Feld im Geiger-Müller-Zählrohr . . . . .	2
2.1	Zählrate bei unterschiedlichen Eingangsspannungen und Plateauanstieg . .	4
2.2	Häufigkeit Zählraten . . . . .	5
2.3	Zählrate bei Variablem Abstand . . . . .	7
3.1	Korrigierte Zählrate der Messung zur Alpha-Absorption . . . . .	11
3.2	Korrigierte Zählrate der Messung zur Beta-Absorption mit Regressionen . .	13
3.3	Korrigierte Zählrate der Messung zur Gamma-Absorption mit Regressionen	16

## Tabellenverzeichnis

2.1	gemessene Zählrate bei variabler Eingangsspannung . . . . .	3
2.2	Plateausteigung Regressionsparameter . . . . .	4
2.3	Ermittlung der Totzeit durch Messung der Ereignisanzahl bei unterschiedli- chen Konfigurationen; Hintergrundstrahlung abgezogen . . . . .	6
2.4	Regressionsparameter Abstandsgesetz . . . . .	6
2.5	Zählrate für unterschiedliche Abstände zwischen GMZ und Präparat . . . .	7
3.1	Messwerte $\alpha$ -Absorption und korrigierte Zählraten . . . . .	10
3.2	Messwerte $\beta$ -Absorption . . . . .	12
3.3	Messwerte $\beta$ -Absorption . . . . .	12
3.4	Ergebnisse der Regression $\beta$ -Absorption . . . . .	13
3.5	Zählrate für unterschiedliche Absorberdicken . . . . .	15
3.6	Regressionsparameter Gamma-Absorption . . . . .	16
3.7	Auswertung Gamma-Absorption . . . . .	17
3.8	Gamma-Absorption Materialien . . . . .	17

# 1. Einführung

Bei diesem Versuch geht es um die Untersuchung der Wechselwirkung von radioaktiver Strahlung mit Materie. Die Untersuchungen werden mit unterschiedlichen radioaktiven Präparaten durchgeführt, um unterschiedliche Strahlungsarten zu analysieren.

## 1.1 Radioaktive Strahlung

Bei radioaktiver Strahlung wird zwischen den Strahlungsarten  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$  unterschieden.

### 1.1.1 $\alpha$ Strahlung

Bei  $\alpha$  Strahlung handelt es sich um einen emittierten Helium-Kern, welcher als Produkt eines Kernzerfalls hervorgeht.  $\alpha$  Strahlung besteht, verglichen mit den anderen Strahlungsarten, aus verhältnis großen Partikeln. Somit richten  $\alpha$  Strahler am menschlichen Körper einen größeren Schaden als andere Strahlungsarten an, sind aber auch leichter abzuschirmen.

### 1.1.2 $\beta$ Strahlung

Ähnlich wie bei der  $\alpha$  Strahlung handelt es sich bei der  $\beta$  Strahlung auch um ein Zerfallsprodukt. Der Unterschied liegt aber an der Art des emittierten Teilchens. Dabei wird zwischen unterschiedlichen Arten von  $\beta$  Strahlung unterschieden:

- Beim  $\beta^-$  Zerfall wird ein Neutron im Kern eines Atoms in ein Proton und ein Elektron umgewandelt. Das Elektron wird aus dem Kern emittiert.
- Beim  $\beta^+$  Zerfall wird im Kern ein Proton zu einem Neutron umgewandelt. Infolge dessen wird ein Positron emittiert.

Da  $\beta$  Strahlung aus kleineren Teilen als  $\alpha$  Strahlung besteht, fällt der dadurch zustandekommende Schaden am menschlichen Körper geringer aus. Im Gegensatz dazu muss ein aufwendigerer Aufwand zur Abschirmung von  $\beta$  Strahlung betrieben werden.

### 1.1.3 $\gamma$ Strahlung

$\gamma$  Strahlung wird emittiert, wenn ein Kern nach einem Zerfallsprozess in einem angeregten Zustand verbleibt. Der Kern gibt seine Energie in Form von hochenergetischer elektromagnetischer Strahlung ab und emittiert ein  $\gamma$  Quant.

### 1.1.4 Messung radioaktiver Strahlung

Das Gerät, welches in diesem Versuch verwendet wird, um Radioaktive Strahlung zu messen, ermittelt diese mithilfe eines „Geiger-Müller-Zählrohrs“. Der Aufbau einer solchen Apparatur wird in Abbildung 1.1 dargestellt und im folgenden ausführlich erklärt. Das Zählrohr besteht aus einem Metallrohr, in dessen Innerem sich ein Draht befindet. Der

Raum zwischen den Metallkörpern ist mit einem Gas gefüllt und am offenen Ende mit einer dünnen Membran verschlossen.

Die metalischen Körper sind elektrisch voneinander isoliert und an einer Spannungsquelle angeschlossen. Häufig wird der äußere Zylinder mit der Kathode und der Draht im Inneren mit der Anode verbunden. Das dadurch zustandekommende elektrische Feld im Inneren des Rohres, siehe Abbildung 1.2, ist radialsymmetrisch und um den Draht herum an stärksten.

Dringt nun radioaktive Strahlung in das Geiger-Müller-Zählrohr ein und wechselwirkt mit dem darin eingesperrten Gas, so werden Elektronen freigesetzt. Das elektrische Feld treibt die frei gewordenen Elektronen zum Zählendraht. Auf dem Weg dorthin werden weitere Elektronen herausgestoßen. Eine Stoßionisation setzt ein. Somit kann die Wechselwirkung der radioaktiven Strahlung in Form eines Spannungsimpulses am Draht nachgewiesen werden. Der hochohmige Widerstand  $R$  ermöglicht eine Messung der Spannungsspitze mit einem Spannungsmessgerät.

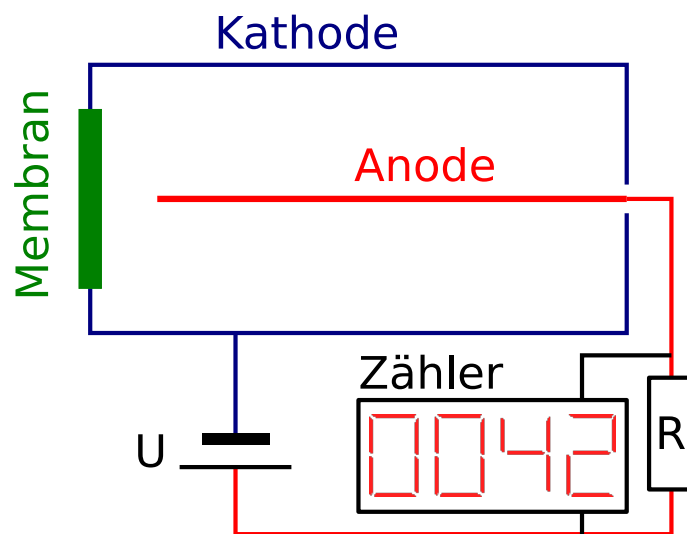


Abbildung 1.1: Skizze: Aufbau Geiger-Müller-Zählrohr

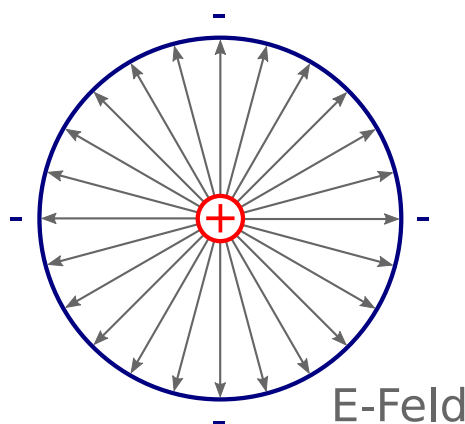


Abbildung 1.2: Skizze: E-Feld im Geiger-Müller-Zählrohr

## 2. Geiger-Müller-Zählrohr Eigenschaften

Der Aufbau und die Funktionsweise eines Geiger-Müller-Zählrohrs wurden in Abschnitt 1.1.4 ausführlich erklärt, weshalb hier nicht weiter darauf eingegangen wird.

Im Verlauf dieser Versuche werden die Eigenschaften des für die weiteren Messungen zu verwendenden Geiger-Müller-Zählrohrs untersucht.

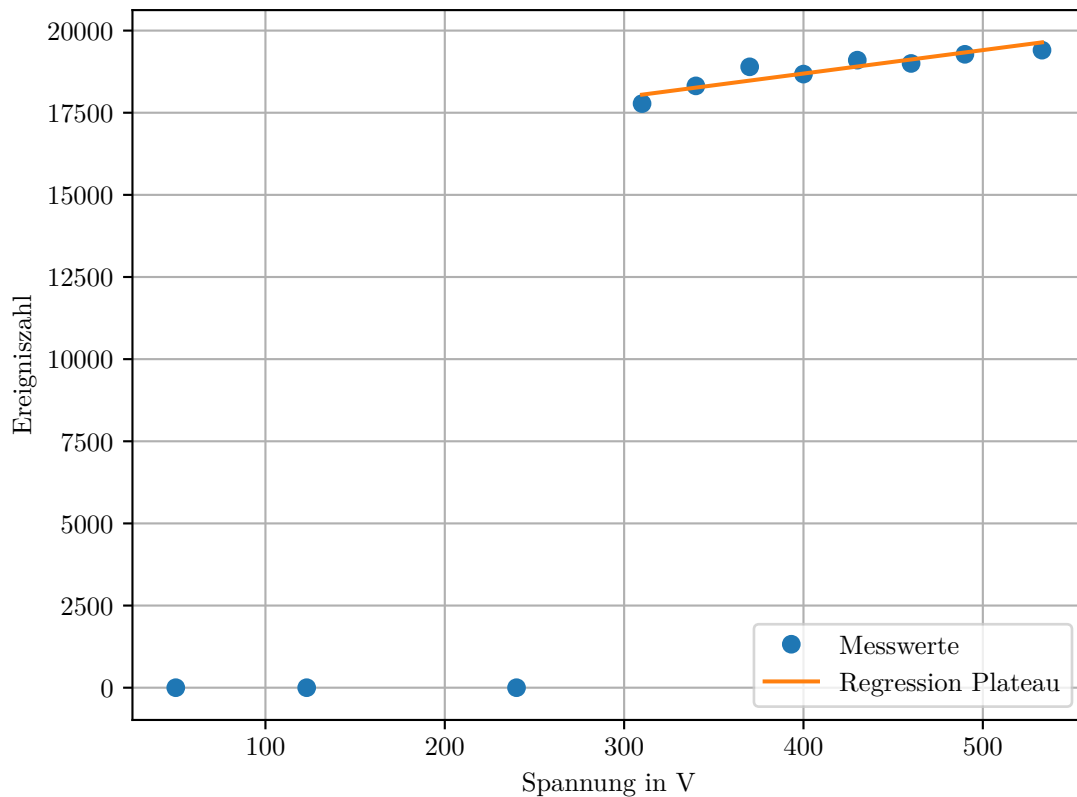
### 2.1 Eingangsspannung und Plateauanstieg

Das Strontium-90/Yttrium-90-Betapräparat wurde auf einem Probenhalter auf einer Zeiss-Schiene circa 3 cm vor dem Geiger-Müller-Zählrohr befestigt. Während diesem Versuch wurde die Zählrohrspannung variiert: zunächst in großen und anschließend in kleinen Abschnitten. Parallel dazu wurde in der Software CASSYLAB die Zählrate gemessen. Diese Messungen wurden mit einer Intervallzeit von 100 ms und einer Laufzeit von 2 min durchgeführt. Falls die Ereigniszahl nach 30 sek immer noch 0 war, wurde die Messung abgebrochen, da kein weiterer Anstieg der Ereigniszahl zu erwarten ist. Die Messergebnisse sind Tabelle 2.1 zu entnehmen.

Die bei dem Versuch aufgenommenen Messwerte, welche in Tabelle 2.1 zu sehen sind, wurden in Abbildung 2.1 geplottet. Dabei ist zu erkennen, dass sich ab einer Spannung von circa 350 V ein deutlich sichtbares Plateau ausbildet. Mit kleineren Spannungen kann keine Zählrate ermittelt werden, da das Zählrohr sich im Rekombinationsbereich befindet.

**Tabelle 2.1:** gemessene Zählrate bei variabler Eingangsspannung

Eingangsspannung in V	Ereignisanzahl
50,0	0,0
123,0	0,0
240,0	0,0
310,0	17 778,0
340,0	18 317,0
370,0	18 897,0
400,0	18 676,0
430,0	19 100,0
460,0	19 000,0
490,0	19 278,0
533,0	19 404,0



**Abbildung 2.1:** Zählrate bei unterschiedlichen Eingangsspannungen und Plateauanstieg

Bei diesem Versuch soll der Anstieg der Messwerte im Plateau über eine Regression ermittelt werden. Die lineare Regression wurde mit einer Funktion der Form

$$f(x) = m \cdot x + c \quad (2.1)$$

durchgeführt. Die aus der Regression gewonnenen Werte für die Parameter dieser Funktion sind Tabelle 2.2 zu entnehmen.

**Tabelle 2.2:** Plateauanstieg Regressionsparameter

Parameter	Wert
m	$(7,14 \pm 0,73) \text{ V}^{-1}$
c	$15\,837,0 \pm 29,2$

Für die weiteren Versuche wurde die Eingangsspannung konstant bei einem Wert von 450 V gehalten.

## 2.2 Nulleffekt bestimmen

Das Geiger-Müller-Zählrohr nimmt während dem Messvorgang nicht nur die radioaktive Strahlung des Präparates, sondern auch Hintergrundstrahlung aus der Umgebung auf. Diese soll nun ermittelt werden, um zukünftige Messergebnisse korrigieren zu können. Dazu werden alle radioaktiv strahlende Präparate möglichst weit von dem Geiger-Müller-Zählrohr entfernt. In dieser aufgeräumten Umgebung wird nun mit der Mess-Software CASSYLAB



160 mal für jeweils 5 Sekunden ( $\hat{=}$  800 s) die Zählrate gemessen. Zur besseren Übersicht sind die aufgenommenen Messwerte im Messprotokoll zu finden. In Abbildung 2.2 ist die Häufigkeit der gemessenen Zählrate pro Messintervall abgebildet.

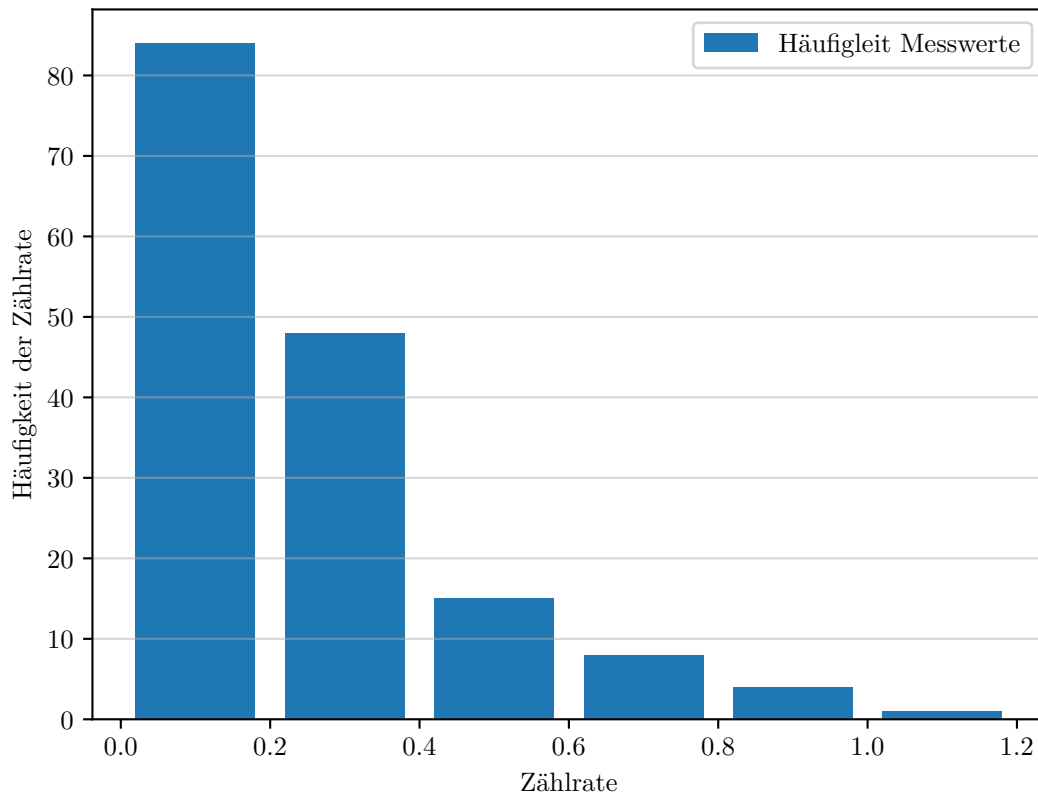


Abbildung 2.2: Häufigkeit Zählraten

Aus der Häufigkeitsverteilung lassen sich für den Nulleffekt ein Mittelwert von  $\mu = 0,245 \frac{1}{s}$  und eine Standardabweichung von  $\sigma = 0,238 \frac{1}{s}$  ermitteln.

### 2.3 Totzeitermittlung nach der Zwei-Präparate-Methode

Das Ziel dieses Versuches ist es, die Totzeit des Geiger-Müller-Zählrohrs mit der Zwei-Präparate-Methode zu ermitteln. Das Vorgehen dazu sieht folgendermaßen aus: für eine jeweils konstante Zeit von  $T = 180s$  wird die Zählrate für unterschiedliche Konfigurationen gemessen. Diese Konfigurationen sehen folgendermaßen aus: „Nur Präparat 1“, „Nur Präparat 2“ und „beide Präparate“. Für diese Messungen werden die Präparate auf der Zeiss-Schiene in einem Abstand von 1,7 cm vor dem Geiger-Müller-Zählrohr befestigt. Die aufgenommenen Messwerte sind Tabelle 2.3 zu entnehmen. Dabei wurden die Messwerte korrigiert, indem die in Abschnitt 2.2 ermittelte Hintergrundstrahlung davon abgezogen wurde.

**Tabelle 2.3:** Ermittlung der Totzeit durch Messung der Ereignisanzahl bei unterschiedlichen Konfigurationen; Hintergrundstrahlung abgezogen

Eingangsspannung in V	Ereignisanzahl
Präparat 1	24 481
Präparat 2	10 681
Präparat 1 + 2	35 125

Die Berechnung der Totzeit erfolgt nach der in der Versuchsvorbereitung angegebenen Formel:

$$\tau = \frac{T}{N_{1+2}} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - (N_1 + N_2 - N_{1+2}) \cdot \frac{N_{1+2}}{N_1 \cdot N_2}} \right). \quad (2.2)$$

Dabei ist  $N_i$  die Zählrate, die bei der Verwendung von Präparat  $i$  gemessen wurde. Nach Einsetzen der Messwerte liegt die berechnete Totzeit bei  $\tau = 1,272 \cdot 10^{-5}$  s.

## 2.4 Überprüfen des Abstandsgesetzes

In diesem Versuch soll die Gültigkeit des Abstandsgesetzes überprüft werden. Das Abstandsgesetz besagt, dass der Teilchenstrom  $I$  umgekehrt proportional zum Quadrat des Anstands zwischen der Strahlungsquelle und dem Geiger-Müller-Zählrohr ist:  $I \cdot R^2 = \text{const.}$

Die Durchführung dieses Versuches bestand aus mehreren Messungen mit jeweils einer Zeitdauer von 5 s, bei denen der Abstand zwischen dem Präparat und dem Geiger-Müller-Zählrohr variiert wurde. Als Strahlungsquelle wurde eine Cobalt-Gammaquelle verwendet. Die Messungen sind in Tabelle 2.5 zu finden. In Abbildung 2.3 wurden die Messwerte auf einer doppellogarithmischen Skala geplottet und einer Regression unterzogen.

Die Regression der Messwerte in Abbildung 2.3 wurde mit einer Funktion der Form

$$f(x) = e^{a+b \cdot \log(x)} \quad (2.3)$$

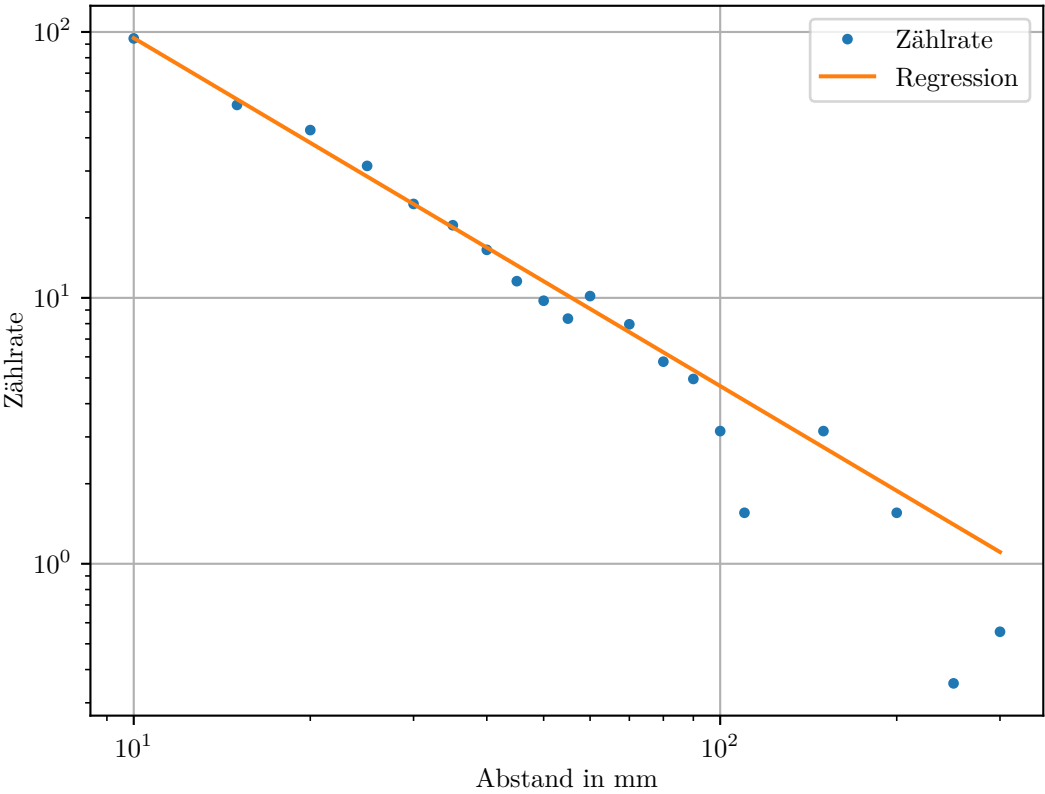
durchgeführt. Die aus der Regression ermittelten Parameter sind Tabelle 2.4 zu entnehmen. Dabei fällt auf, dass der Parameter  $b$  von dem zu erwartenden Wert von  $-2$  abweicht. Mögliche Ursachen für diese Abweichung werden im Abschnitt 2.5 aufgelistet.

**Tabelle 2.4:** Regressionsparameter Abstandsgesetz

Parameter	Wert
a	$7,566 \pm 0,078$
b	$-1,309 \pm 0,029$

**Tabelle 2.5:** Zählrate für unterschiedliche Abstände zwischen GMZ und Präparat

Abstand in mm	GMZ gemessene Impulse	Zählrate in $s^{-1}$
10	473	95
15	266	54
20	214	43
25	157	32
30	113	23
35	94	19
40	76	16
45	58	12
50	49	10
55	42	9
60	51	11
70	40	8
80	29	6
90	25	5
100	16	4
110	8	2
150	16	4
200	8	2
250	2	1
300	3	1



**Abbildung 2.3:** Zählrate bei Variablem Abstand

## 2.5 Ausblick

Bei diesen Versuchen gibt es mehrere Ursachen, aus denen Fehler resultieren können. Häufig wurde angenommen, dass die Strahlungsquelle in alle Richtungen denselben Teilchenstrom emittiert. Bauartbedingt kann es zu Abweichungen kommen, da die Strahlungsquelle bei der Positionierung auf der Zeiss-Schiene gedreht werden konnte. Dies kann bei der Ermittlung der Totzeit und dem Überprüfen des Abstandsgesetzes hinderlich sein, da davon ausgegangen wird, dass die Strahlungsquelle während der Durchführung permanent nicht gedreht wird. Die Ermittlung der Totzeit wurde weiterhin dadurch erschwert, dass sich beide Präparate nicht gleichzeitig an derselben Stelle befinden konnten.

Weiterhin ist zu beachten, dass beim Einstellen der Eingangsspannung für das Geiger-Müller-Zählrohr die im Spannungsmessgerät eingestellte Spannung nicht mit einem Spannungsmessgerät überprüft wurde. Die Ermittlung der Hintergrundstrahlung konnte durch andere Versuchsgruppen im selben Raum Messfehler aufnehmen, da deren radioaktive Präparate von dem Geiger-Müller-Zählrohr eventuell miterfasst wurden.

Zu guter Letzt muss noch berücksichtigt werden, dass das Überprüfen des Abstandsgesetzes dadurch beeinflusst wurde, dass bei größerem Abstand zwischen Strahlungsquelle und Geiger-Müller-Zählrohr der Absorptionsverlust durch die Luft größer ausfällt. Die Position der Strahlungsquelle auf der Schiene konnte weiterhin nur auf circa 1 mm genau eingestellt werden.

## 3. Absorptionsmessungen

Für die Absorptionsversuche wurden die Aufgaben unter den Versuchsgruppen aufgeteilt. Die Messwerte wurden anschließend von beiden Gruppen verwendet.

### 3.1 $\alpha$ -Absorption

In diesem Versuchsteil sollen die Absorptionskurve der  $\alpha$ -Strahlung einer Americium-241 Quelle in Luft analysiert und die Reichweite eines  $\alpha$ -Strahlers bestimmt werden. Dazu werden die Zählraten für immer größer werdende Abstände  $d$  zwischen dem Geiger-Müller-Zählrohr und dem Präparat gemessen. Anfangs wird der Abstand von 10 mm gewählt. Die Abstände werden vergrößert, bis die Messrate ungefähr der Hintergrundstrahlung entspricht. Die Messungen dauerten jeweils 200 s. Die Messwerte sind in Tabelle 3.1 zu sehen.

Da die Strahlungsquelle als punktförmig angenommen wird, müssen Störfaktoren wie die Hintergrundstrahlung, die Totzeit des Zählrohrs, die Gammastrahlung aus dem Präparat sowie der sich ändernde Raumwinkel berücksichtigt werden. Die tatsächliche Zählrate  $R_{\text{kor}}(d)$  errechnet sich unter der Berücksichtigung der gemessenen Zählrate  $R$ , der Zählrate der Hintergrundstrahlung  $R_0$  und der Totzeit des Zählrohrs  $\tau$ :

$$R_{\text{kor}}(d) = \frac{R(d)}{1 - R(d) \cdot \tau} - R_0. \quad (3.1)$$

Weiterhin ist eine Korrektur um den sich ändernden Raumwinkel erforderlich. Dieser berechnet sich über den Radius  $r = 4,5 \text{ mm}$  des Zählrohrfensters und den Abstand  $d$  zwischen Strahlungsquelle und Zählrohr:

$$\Omega = \frac{\pi \cdot r^2}{d^2}. \quad (3.2)$$

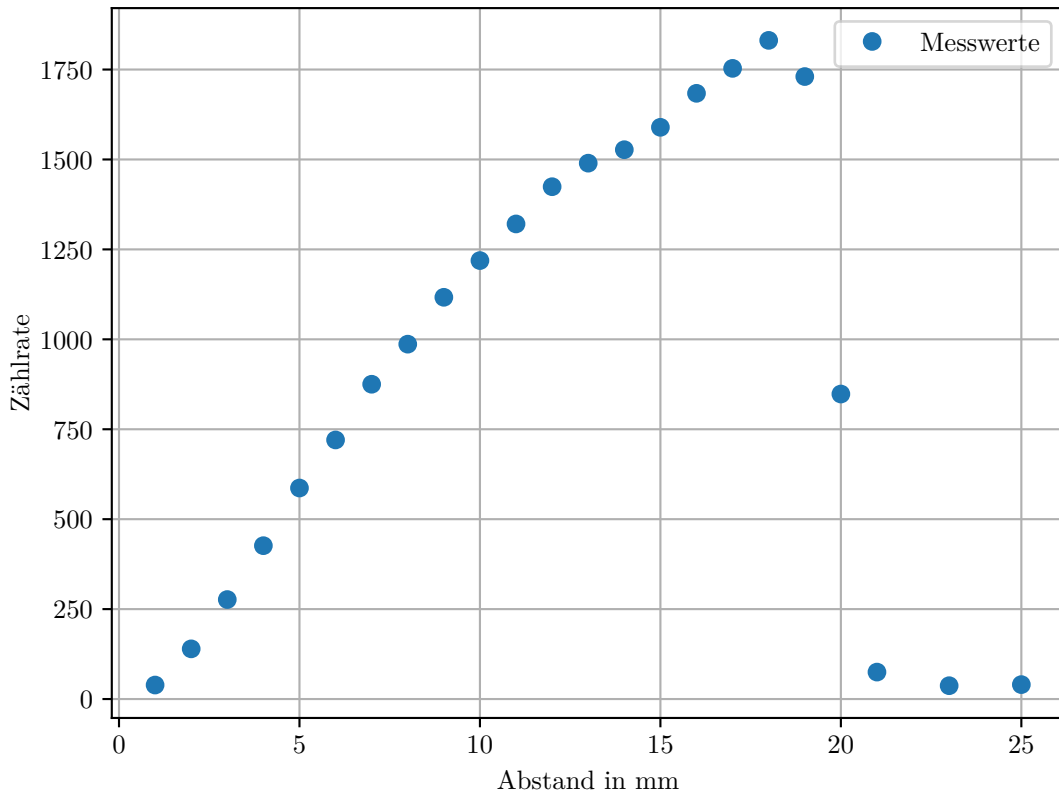
Daraus lässt sich eine erneute Korrektur der Zählrate berechnen:

$$R_{\Omega\text{kor}}(d) = R_{\text{kor}}(d) \cdot \frac{4 \cdot \pi}{\Omega} = R_{\text{kor}}(d) \cdot \frac{4 \cdot d^2}{r^2},. \quad (3.3)$$

Diese korrigierte Zählrate wurde in Tabelle 3.1 hinzugefügt. Zu den Abständen wurden die 1 mm Dicke des Fensters vor dem Geiger-Müller-Zählrohrs hinzugefügt. Weiterhin wurde von dieser Korrektur der Zählrate in Abbildung 3.1 ein Plot angefertigt.

**Tabelle 3.1:** Messwerte  $\alpha$ -Absorption und korrigierte Zählraten

Abstand in mm	Anzahl Zählungen	Zählrate $R$	Korrigierte Zählrate $R_{\Omega_{korr}}$ in $s^{-1}$
1	39 373	196,865	38,936
2	35 284	176,42	139,513
3	31 105	155,525	276,601
4	26 983	134,915	426,357
5	23 772	118,86	586,642
6	20 281	101,405	720,291
7	18 111	90,555	875,122
8	15 641	78,205	986,553
9	13 997	69,985	1116,837
10	12 381	61,905	1218,939
11	11 093	55,465	1320,762
12	10 057	50,285	1424,275
13	8969	44,845	1489,723
14	7934	39,67	1527,155
15	7198	35,99	1589,399
16	6706	33,53	1683,876
17	6189	30,945	1753,249
18	5769	28,845	1831,077
19	4901	24,505	1730,492
20	2195	10,975	847,924
21	221	1,105	74,917
23	120	0,6	37,096
25	114	0,57	40,124



**Abbildung 3.1:** Korrigierte Zählrate der Messung zur Alpha-Absorption

In Abbildung 3.1 ist zu erkennen, dass die  $\alpha$ -Strahlung nach circa 22 mm von der Luft weitestgehend absorbiert wird. Ab dieser Distanz fällt das Plateau der Messwerte rapide ab und wird von einem anderen Plateau nahe 0 abgelöst. Über die Streuung der Messwerte sowie Fehlerquellen bei der Durchführung wird in Abschnitt 3.4 diskutiert.

Mit der Zerfallsenergie lässt sich ein theoretischer Wert für die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung berechnen. Für die Zerfallsenergie von Am-241 wurde der Wert von 5,486 MeV in [Wik20b] nachgeschaut. Daraus berechnet sich über die in der Aufgabenstellung erwähnte empirische Reichweiteformel eine maximale Distanz von

$$d = 0,318 \cdot E^{1,5} = 41 \text{ mm} . \quad (3.4)$$

Die errechnete Distanz ist um 19 mm länger als der in diesem Versuch experimentell bestimmte Wert.

### 3.2 $\beta$ -Absorption

In diesem Versuchsteil wird für das Material Aluminium, im weiteren Verlauf des Protokolls als „Absorber“ bezeichnet, die Absorptionskurve der  $\beta$ -Strahlung analysiert. Hierfür wird eine SR-90/Y-90 Strahlungsquelle herangezogen und zwischen der Strahlungsquelle und dem Geiger-Müller-Zählrohr eine Blende fixiert. Die Messungen wurden mit der Software CASSYLAB durchgeführt. Dabei wurde die Zeit gemessen, bis eine Zählrate von 10000 oder die Maximale Zeit von 400 s erreicht wurde. Der Abstand zwischen Strahlungsquelle und Zählrohr betrug  $D = 0,04 \text{ m}$ , wovon 1 mm wegen der Eintrittsfensterdicke des Zählrohrs hinzugefügt werden muss. Die Messwerte sind in Tabelle 3.2 zu finden.

**Tabelle 3.2:** Messwerte  $\beta$ -Absorption

Absorberdicke in $\mu\text{m}$	Zeit in s	Ereigniszahl	Zählrate in $\text{s}^{-1}$
6	245,3	9997	40,75
10	248,2	8896	35,84
22	263,4	9909	37,62
25	264,7	9998	37,77
50	287,9	10 000	34,73
91	324,6	9999	30,8
100	345,8	9995	28,9
200	400,0	9207	23,02
310	400,0	8366	20,92
525	400,0	6172	15,43
980	400,0	3565	8,91
1460	400,0	1987	4,97
1990	400,0	874	2,18
3000	400,0	179	0,45

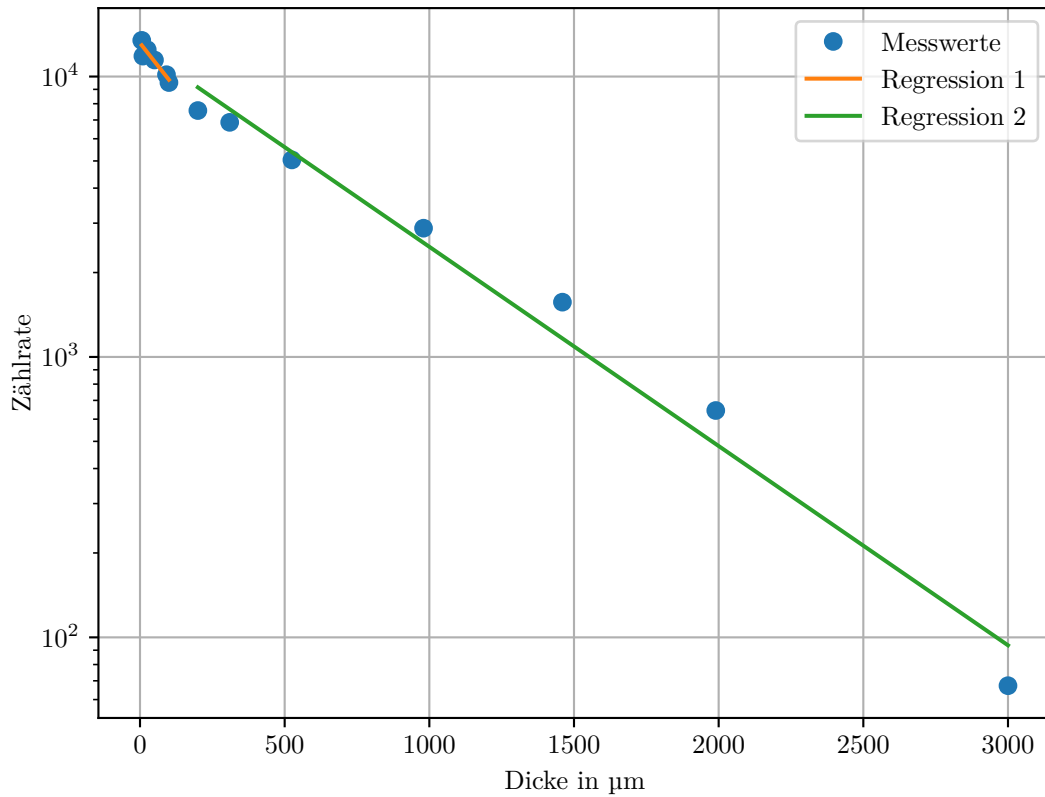
Die Luft im Laufweg der  $\beta$ -Strahlung und die Absorption des Zählrohrfensters müssen zusätzlich als Störfaktoren berücksichtigt werden. Laut Aufgabenstellung ist die Störung identisch mit der einer  $12\mu\text{m}$  dicken Aluminiumschicht. Dieser Störfaktor wird zur Dicke der Plättchen dazu addiert. Weiterhin muss die Zählrate mittels Formel 3.1 und Formel 3.3 korrigiert werden. Die zur Weiterverarbeitung angepassten Messwerte sind in Tabelle 3.3 zu sehen. Die korrigierte Absorberdicke wird dabei als  $d_K$  bezeichnet.

**Tabelle 3.3:** Messwerte  $\beta$ -Absorption

$d_K$ in $\mu\text{m}$	Zeit in s	Ereigniszahl	Zählrate in $\text{s}^{-1}$	$R_{\Omega\text{korrr}}$ in $\text{s}^{-1}$
18	245,3	9997	40,75	13 458,06
22	248,2	8896	35,84	11 825,41
34	263,4	9909	37,62	12 416,19
37	264,7	9998	37,77	12 466,53
62	287,9	10 000	34,73	11 457,24
103	324,6	9999	30,8	10 151,13
112	345,8	9995	28,9	9519,73
212	400,0	9207	23,02	7563,83
322	400,0	8366	20,92	6865,31
537	400,0	6172	15,43	5043,18
992	400,0	3565	8,91	2878,37
1472	400,0	1987	4,97	1568,21
2002	400,0	874	2,18	644,2
3012	400,0	179	0,45	67,24

Die in Tabelle 3.3 aufgelisteten korrigierten Zählraten wurden in Abhängigkeit von der Dicke des Plättchens geplottet. Dabei wurde zur besseren Darstellung eine logarithmische Skala verwendet. Der Plot wird in Abbildung 3.2 dargestellt.





**Abbildung 3.2:** Korrigierte Zählrate der Messung zur Beta-Absorption mit Regressionen

Die aus der in Abbildung 3.2 ermittelten Parameter für die Regressionen sind Tabelle 3.4 zu entnehmen. Dabei wurden die Regressionen mit einer Exponentialfunktion der Form

$$f(x) = e^{m \cdot x + c} \quad (3.5)$$

durchgeführt.

**Tabelle 3.4:** Ergebnisse der Regression  $\beta$ -Absorption

Regression	m in $\mu\text{m}^{-1}$	c
Regression 1	$(-0,003 \pm 0,011) \frac{1}{\text{s} \cdot \mu\text{m}}$	$(9,48 \pm 0,60) \frac{1}{\text{s}}$
Regression 2	$(-0,00164 \pm 0,00040) \frac{1}{\text{s} \cdot \mu\text{m}}$	$(9,45 \pm 0,61) \frac{1}{\text{s}}$

Im Gegensatz zur  $\alpha$ -Strahlung tritt bei  $\beta$ -Strahlung kein scharfer Abfall der Messrate auf, an dem der maximale Laufweg abgelesen werden kann. Die Strahlungsintensität nähert sich für immer dicker werdende Alu-Plättchen der Hintergrundstrahlung an. Da die verwendete Probe aus einem Gemisch zweier unterschiedlicher Strahlungsquellen besteht, sind auch zwei unterschiedliche Kurven in Abbildung 3.2 zu sehen. Bei Regression 1 handelt es sich um die Absorptionskurve von Strontium-90 und bei Regression 2 handelt es sich um die Absorptionskurve von Yttrium-90. Die Reichweite der niederenergetischen Strontium-Strahlung lässt sich an Schnittpunkt der beiden Regressionsgeraden bestimmen. Dieser befindet sich bei

$$R_{Sr,max} = \frac{9,45 - 9,48}{-0,003 - -0,00164} = 26 \mu\text{m} \quad (3.6)$$

Für die Bestimmung der Reichweite der energievolleren Yttrium-Strahlung wird abgeschätzt, ab welcher Dicke die Strahlung der Hintergrundstrahlung von  $0,245 \text{ s}^{-1}$  entspricht. Die Reichweite dieser Strahlungsquelle berechnet sich folgendermaßen:

$$e^{m \cdot R_{Yt,max} + c} = 0,245 \text{ s}^{-1} \quad (3.7)$$

$$-0,00164 \frac{1}{\text{s} \cdot \mu\text{m}} \cdot R_{Yt,max} = \log 0,245 \text{ s}^{-1} - 9,45 \frac{1}{\text{s}} \quad (3.8)$$

$$R_{Yt,max} = 6634 \mu\text{m} \quad (3.9)$$

Weiterhin sind aus den Messwerten die Massenabsorptionskoeffizienten zu berechnen. Dazu werden in erster Linie die Steigungen der beiden Geraden benötigt:

$$\begin{aligned} \mu_{Sr-90/Yt-90} &= 30,1 \frac{1}{\text{cm}} \\ \mu_{Yt-90} &= 16,4 \frac{1}{\text{cm}} \\ \mu_{Sr-90} &= 13,7 \frac{1}{\text{cm}}. \end{aligned}$$

die Steigung  $\mu_{Yt-90}$  musste aus der Differenz der beiden Steigungen ermittelt werden, da in der ersten Regression die Abfallskurve von Strontium-90 und Yttrium-90 enthalten ist. Mit diesen Angaben lässt sich über die Formel

$$\kappa = \frac{\mu}{\rho} \quad (3.10)$$

der Massenabsorptionskoeffizient berechnen. Dazu wird die Dichte von Aluminium mit  $\rho_{Alu} = 2698,9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$  aus [Wik20a] verwendet. Die Massenabsorptionskoeffizienten berechnen sich zu:

$$\kappa_{Sr-90} = 0,61 \frac{\text{m}^2}{\text{Kg}} \quad (3.11)$$

$$\kappa_{Yt-90} = 0,51 \frac{\text{m}^2}{\text{Kg}}. \quad (3.12)$$

$$(3.13)$$

Weiterhin ist noch die Grenzenergie  $W$  der  $\beta$ -Strahlung zu bestimmen. Diese berechnet sich über folgende Formel:

$$W = 1,92 \cdot \sqrt{r^2 \cdot \rho^2 + 0,22 \cdot \rho \cdot r}. \quad (3.14)$$

Bei dieser Gleichung handelt es sich um die aus der Aufgabenstellung entnommene Flammersfeld-Beziehung. Dabei wird für  $r = r_{max}$  die maximale Reichweite der Strahlung verwendet. Die Grenzenergien berechnen sich zu:

$$W_{Sr-90} = 0,26 \text{ MeV}$$

$$W_{Yt-90} = 6,634 \text{ MeV}.$$

Ein Vergleich mit dem Literaturwert für die Grenzenergie von Yt-90 von 2,282 MeV, entnommen aus [Wik20f], zeigt, dass bei der experimentellen Ermittlung eine Abweichung von 190 % zustande gekommen ist. Der berechnete Wert ist beinahe das doppelte vom Literaturwert entfernt und weist über eine extrem große Abweichung auf. Für die Grenzenergie

von Sr-90 mit einem Wert von 0,546 MeV, deren Wert aus [Wik20e] entnommen wurde, liegt eine Abweichung um 52,3 % vor. Die Abweichung fällt diesmal deutlich geringer aus.

Im Anschluss soll die Frage nach dem Aktivitätsverhalten von Mutter- und Tochternuklid beantwortet werden. Die Antwort lässt sich mit den Halbwertszeiten der Nuklide bestimmen. Wegen dem Zerfall des Mutter-Nuklids in das Tochternuklid steigt die Anzahl an Tochter-Nukliden an, bis diese durch den Zerfall der Tochter-Nuklide kompensiert. Die Aktivität der beiden Nuklide ist somit gleich groß.

### 3.3 $\gamma$ -Absorption

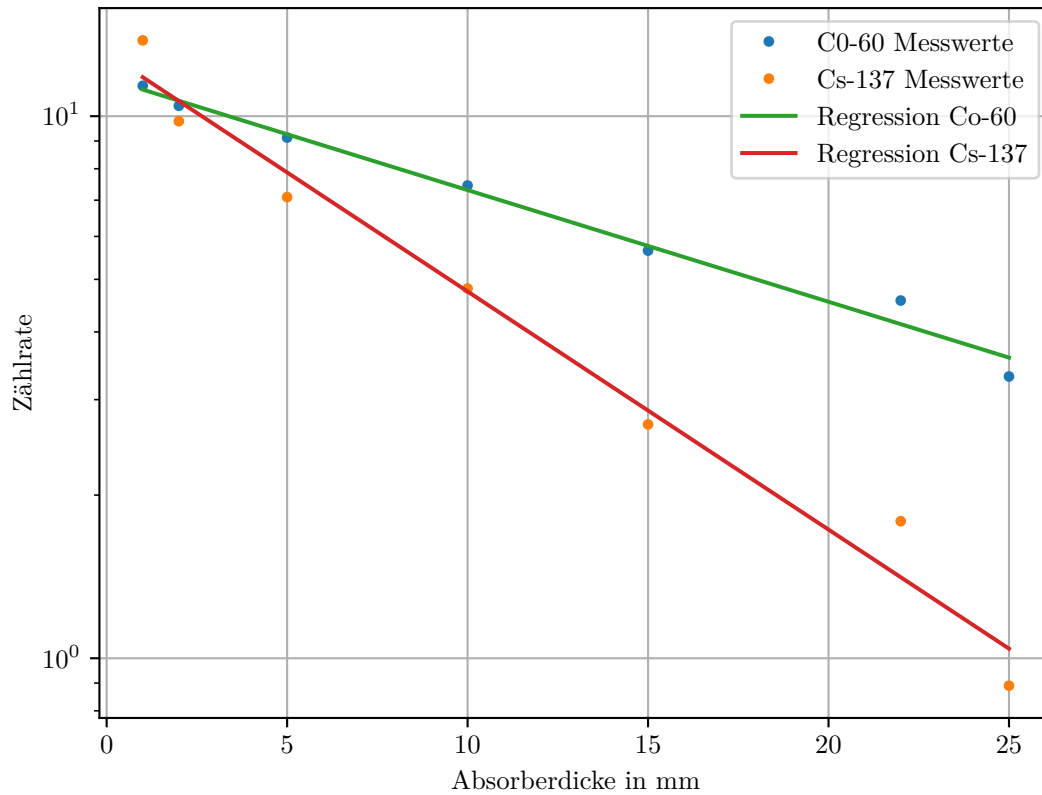
#### 3.3.1 Absorptionskurve von Blei

In diesem Versuchsteil wurde zur Analyse der Absorptionskurve eines Blei-Absorbers eine Co-60 $\gamma$ -Strahlenquelle verwendet. Der Aufbau erfolgt ähnlich wie im in Abschnitt 3.2 beschriebenen Versuchsteil. Dabei wurden die Ereigniszahlen für unterschiedliche absorber-Dicken gemessen. Die Zählraten, die über die Messdauer von 200 s berechnet wurden, sind Tabelle 3.5 zu entnehmen. Weiterhin befinden sich in dieser Tabelle auch die Messwerte für die nächste Versuchsreihe. Die Zählraten wurden korrigiert, indem die Totzeit und die Hintergrundrate nach Gleichung 3.1 miteinberücksichtigt wurde. Bei dieser Messreihe handelte es sich um ein anders Geiger-Müller-Zählrohr als bei den vorherigen, weshalb eine Richtigkeit der Hintergrundrate und der Totzeit nicht vorausgesetzt werden kann. Dennoch wird die Korrektur vorgenommen, da angenommen wird, dass sich die Hintergrundrate und die Totzeit von Gerät zu Gerät nicht großartig unterscheiden.

**Tabelle 3.5:** Zählrate für unterschiedliche Absorberdicken

Absorberdicke in mm	korrigierte Zählrate C0-60	korrigierte Zählrate Cs-137
1	11,38	13,80
2	10,45	9,79
5	9,13	7,09
10	7,45	4,81
15	5,65	2,70
22	4,57	1,79
25	3,31	0,89

Um die Massenabsorptionskoeffizienten zu ermitteln, wurden die Messwerte in einem Graphen dargestellt. Weiterhin wurde für diese Messwerte eine lineare Regression durchgeführt. Die dazugehörige Grafik ist in Abbildung 3.3 zu sehen.



**Abbildung 3.3:** Korrigierte Zählrate der Messung zur Gamma-Absorption mit Regressionen

Dabei wurden aus der Regression mit einer Funktion der Form

$$\exp(m \cdot x + c) \quad (3.15)$$

Parameter für die Regressionen ermittelt, die in Tabelle 3.6 zu finden sind.

**Tabelle 3.6:** Regressionsparameter Gamma-Absorption

Strahlenquelle	m in mm <sup>-1</sup>	c
Co-60	-0,04 ± 0,04	2,4 ± 0,6
Cs-137	-0,1 ± 0,4	2,5 ± 0,6

Identisch zu dem Vorgehen in Abschnitt 3.2 lassen sich hieraus die Absorptionskoeffizienten und die Massenabsorptionskoeffizienten berechnen. Für den Massenabsorptionskoeffizienten wird die Dichte von Blei benötigt, welche nach [Wik20c] einen Wert von  $11,324 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  hat. Weiterhin lässt sich aus dem Absorptionskoeffizienten  $\mu$  die Halbwertsdicke von Blei über den Zusammenhang

$$d_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln(2)}{\mu} \quad (3.16)$$

bestimmen. Alle drei zu bestimmenden Werte sind in Tabelle 3.7 zu finden.

**Tabelle 3.7:** Auswertung Gamma-Absorption

Strahlenquelle	$\mu$ in $\frac{1}{\text{mm}}$	$\kappa$ in $\frac{\text{m}^2}{\text{Kg}}$	$d_{\frac{1}{2}}$ in m
Co-60	0,04	0,0035	0,0173
Cs-137	0,1	0,0088	0,0069

Ein Vergleich mit den Literaturwerten für die Halbwertsdicken von Co-60 mit 0,0105 m und Cs-137 mit 0,0056 m, welche in [Tho64] nachzulesen sind, zeigt, dass eine Abweichung von 64,7 % bzw. 23,2 % vorliegt.

### 3.3.2 Absorptionsvermögen unterschiedlicher Materialien

Im letzten Versuchsteil wurden unterschiedliche Materialien zwischen der Strahlenquelle und dem Geiger-Müller-Zählrohr platziert, woraufhin wieder die Ereigniszahl gemessen wurde. In Tabelle 3.8 sind die korrigierten Zählraten für alle verwendeten Materialien zu finden. Weiterhin wurden die Dichten aller Materialien notiert. Die Dichte von Luft wurde aus [Wik20d] entnommen. Als Strahlenquelle wurde eine Cs-137 Quelle verwendet. Die Messungen wurden mit einer Messdauer von 30 s durchgeführt.

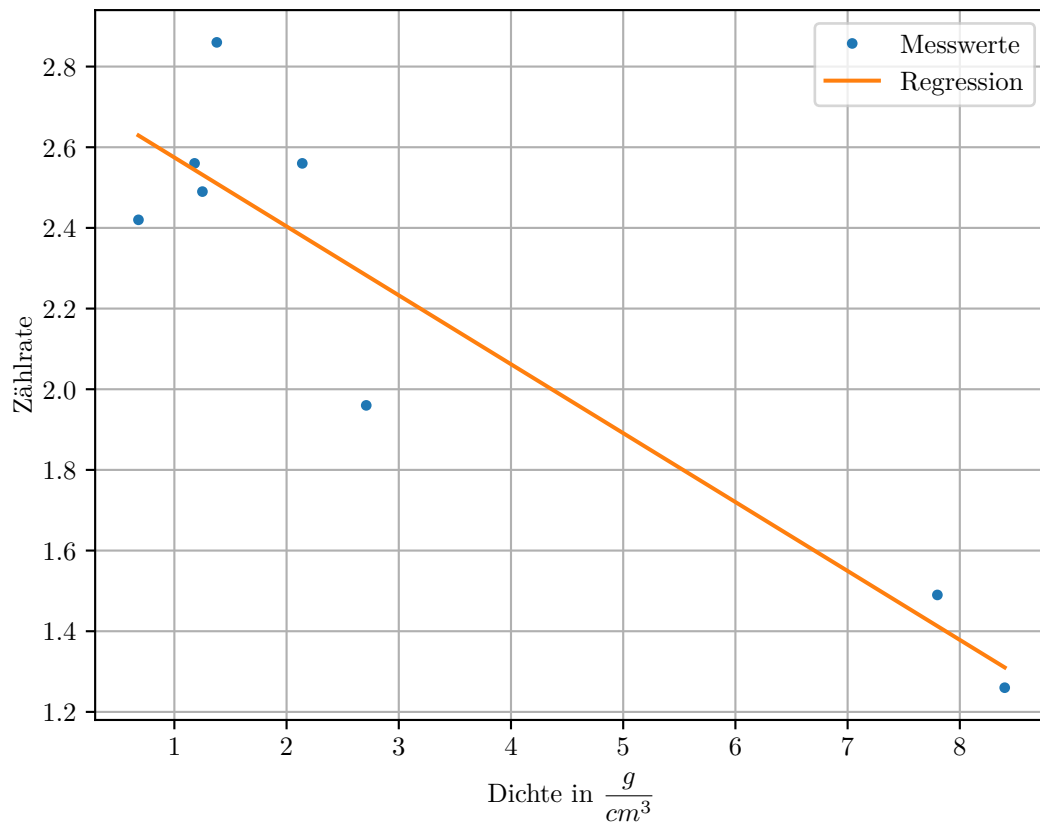
**Tabelle 3.8:** Gamma-Absorption Materialien

Material	Dichte in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	korrigiert Zählrate in $\frac{1}{\text{s}}$
Beton	2,14	2,56
Messing	8,40	1,26
Holz	0,68	2,42
Plexiglas	1,18	2,56
Trovidur	1,38	2,86
Aluminium	2,71	1,96
Eisen	7,80	1,49
Luft	0,13	2,49

Die Messwerte wurden in Abbildung 3.4 geplottet und einer linearen Regression der Funktion

$$f(x) = m \cdot x + c \quad (3.17)$$

unterzogen.



**Abbildung 3.4:** Korrigierte Zählrate in Abhängigkeit von der Dichte des Absorbermaterials

Dabei fällt auf, dass dichtere Materialien die radioaktive Strahlung deutlich besser abschirmen als dünnere Materialien. Der Zusammenhang von Dichte und Zählrate sollte ungefähr linear verlaufen. Trotzdem ist eine große Streuung der Messwerte zu erkennen. Weiterhin ist es nicht möglich, mit den untersuchten Materialien die  $\gamma$ -Strahlung komplett abzuschirmen.

### 3.4 Ausblick

Bei den durchgeführten Messreihen sind einige Fehlerquellen beobachtbar, die auch in den Messwerten deutlich erkennbar sind. So ist bei der Absorptionsmessung für den  $\alpha$ -Strahler zu erkennen, dass die Messwerte auf dem höheren Plateau einer starken Schwankung ausgesetzt sind und dass der Abfall der Messwerte im Plot nicht scharf zu beobachten ist. Dieses Verhalten lässt sich darauf zurück führen, dass das Geiger-Müller-Zählrohr einen kleinen Radius aufweist. Kleine Messungenauigkeiten bei der Messung der Zählrate können durch die Korrektur einen viel größeren Einfluss auf die korrigierte Messrate haben. Außerdem kann das Fehlverhalten darauf zurückgeführt werden, dass eine nicht kommunistische Strahlungsquelle verwendet wurde, sodass auch Strahlen detektiert werden können, die von der Luft gestreut werden. Diese Strahlen legen aber einen längeren Laufweg zurück und erreichen somit viel früher ihren maximalen Laufweg.

# Literaturverzeichnis

- [Tho64] Thoraesus, R.: *Attenuation of Gamma Radiation from  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ , and  $^{226}\text{Ra}$  in Various Materials Used in Radiotherapy*. Seiten 81–86, 1964.
- [Wik20a] Wikipedia: *Aluminium* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Aluminium&oldid=201865297>, 2020. [Online; accessed 27-July-2020].
- [Wik20b] Wikipedia: *Americium* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Americium&oldid=202119793>, 2020. [Online; accessed 20-August-2020].
- [Wik20c] Wikipedia: *Blei* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Blei&oldid=202729988>, 2020. [Online; accessed 16-August-2020].
- [Wik20d] Wikipedia: *Blei* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Luft&oldid=201682178>, 2020. [Online; accessed 16-August-2020].
- [Wik20e] Wikipedia: *Strontium* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Strontium&oldid=202840398>, 2020. [Online; accessed 20-August-2020].
- [Wik20f] Wikipedia: *Yttrium* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Yttrium&oldid=201876019>, 2020. [Online; accessed 20-August-2020].