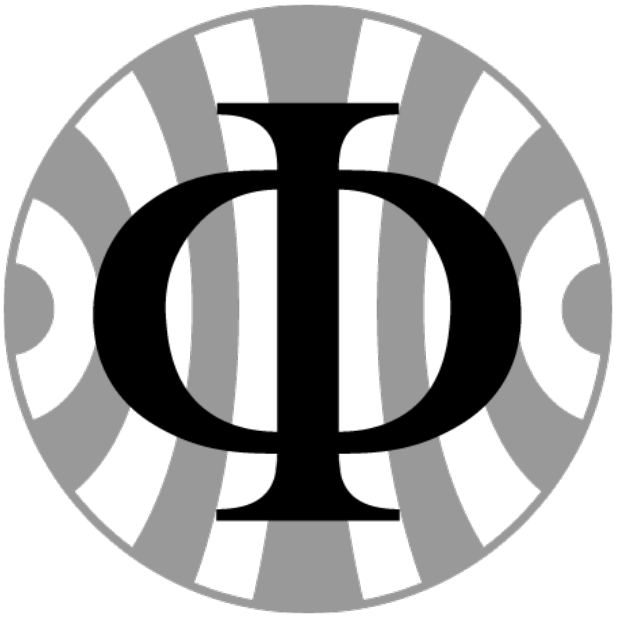
Versuch 253

PAP 2.2, [1]

04.03.2025



[3]

Teilnehmender Student: **Jonathan Rodemers**

Gruppe des Teilnehmenden: 1

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**
1.1 Motivation 1
1.2 Messverfahren 1
1.3 Grundlagen aus der Physik 1

2 Durchführung **3**
2.1 Messprotokol 3

3 Auswertung **4**
3.1 Bestimmug der Maximal Energie der β- Teilchen 4
3.2 Energie der γ Quanten 5
3.3 Bestimmung der Aktivität des γ Strahlers 5
3.4 Aktivität mit Korrekturfaktoren 6
3.5 Bestimmung der α-Strahlungsenergie 7

4 Zusamenfassung und Diskussion **9**

5 Anhang **10**

Quellen- und Literaturverzeichnis **14**

1. Einleitung

1.1 Motivation

Die Absorption von ionisierender Strahlung spielt eine zentrale Rolle in vielen Bereichen der Physik, Medizin und Materialwissenschaften. Das Verständnis der Absorption von α-, β- und γ-Strahlung in Materie ermöglicht die Charakterisierung von Strahlungsquellen, die Abschätzung von Strahlendosen und die Entwicklung von Abschirmmaterialien. Ziel dieses Experiments ist es, die Wechselwirkung verschiedener Strahlungsarten mit Materie zu untersuchen und dabei die Absorptionsmechanismen sowie die maximalen Reichweiten der Strahlung zu bestimmen.

1.2 Messverfahren

Das Experiment wird mit einem Geiger-Müller-Zählrohr durchgeführt, welches die Strahlungsintensität in Abhängigkeit von der Absorberdicke misst. Drei verschiedene Strahlenquellen werden verwendet:

- α-Stahlung von ^{241}Am
- β-Strahlung von $^{90}Sr/^{90}Y$
- γ-Strahlung von ^{60}Co

Die Strahlungsintensität wird zunächst ohne Absorber bestimmt und anschließend für verschiedene Dicken von Aluminium (β-Strahlungstest) und Blei (γ-Strahlungstest) gemessen. Für α-Strahlung wird Luft als variabler Absorber genutzt. Die Messergebnisse werden in halblogarithmischen Diagrammen ausgewertet, um Absorptionskoeffizienten, maximale Reichweiten und Energien zu bestimmen.

1.3 Grundlagen aus der Physik

Die Absorption von Strahlung in Materie wird durch verschiedene Prozesse beschrieben:

- **Exponentieller Zerfall von radioaktiven Quellen:**

$$n = n_0 \cdot e^{-\lambda t} \tag{1.1}$$

  mit der Zerfallskonstante:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \tag{1.2}$$

- **Raumwinkelkorrektur für Aktivitätsmessungen:**

$$\Omega = \frac{\pi r^2}{(d + \frac{l}{2})^2} \tag{1.3}$$

$$A_{korr} = \frac{4n(d + \frac{l}{2})^2}{\epsilon r^2} \tag{1.4}$$

- **Aktivität:**

$$A = \frac{4n}{\epsilon} \frac{d^2}{r^2} \tag{1.5}$$

- **Absorption von β-Strahlung:**

  Die maximale Reichweite R_β in Aluminium kann aus der extrapolierten Absorptionskurve bestimmt werden.

- **Absorption von γ-Strahlung nach dem Lambert-Beer-Gesetz:**

$$n = n_0 e^{-\mu x} \tag{1.6}$$

  mit dem Schwächungskoeffizienten μ.

- **Korrektur für die Absorption in der Präparatkapsel:**

$$A_{abgeschirmt} = A_{offn} e^{-} \tag{1.7}$$

- **Reichweite der α-Strahlung in Luft:**

$$s_1 = \frac{p}{p_0} s_0 \tag{1.8}$$

  unter Berücksichtigung der Fensterdicke des Zählrohrs:

$$s_2 = \frac{\rho_{gl}}{1,43 \text{mg/cm}^2} 1\text{cm} \tag{1.9}$$

Diese physikalischen Gesetze bilden die Grundlage für die spätere Auswertung der Messergebnisse.

2. Durchführung

2.1 Messprotokoll

04.03.25

Messprotokoll
Versuch 253

Jonathan Rademers
Manuel Sorgenfrei

Geräte:

- -> Geiger-Müller Zählrohr inkl. Zählgerät
- -> 241 Am - Präparat
- -> $^{90}Sr/^{90}Y$ - Präparat
- -> ^{60}Co - Präparat
- -> Alu und Bleiabsorber
- -> Vakuumpumpe / evakuierbarer Glaszylinder

Durchführung:

2. Betriebsspan: 520 V ± 5 V
   Messzeit: 300 sec
   gemessene Ereignisse 94
   Durchmesser Zählrohr 14 mm

3. Abstand Präparat ↔ Zählrohr: 6 ± 0,2 cm
   Kennung des Präparats:
   Tabelle im Jupyter Notebook:
   $n_0^B = 144$
   d = 3,4 mm
   t = 300 s
   SR^{90} / A
   Nr. CT827

4. Abstand Präparat ↔ Zählrohr: 15 ± 0,2 cm
   Kennung des Präparats: A - Su 371, Co60 - [illegible]
   Tabelle im Jupyter Notebook:

5. Kennung des Präparats: Siebe: 4
   Tabelle im Jupyter Notebook
   5 ± 0,4 cm
   10 ± 0,4 cm
   15 ± 0,4 cm

6. Abstand Präparat ↔ Zählrohr: 520 ± 5 V
   Kennung des Präparats:
   Tabelle im Jupyter Notebook:
   Abstand: 4,45 cm
   FL dichte: 2,35 mg/cm²

3. Auswertung

3.1 Bestimmug der Maximal Energie der β- Teilchen

Um die Maximalenerie bestimmen zu können brauchen wir die Flächendichte R^β der Teilchen und um diese zu bestimmen, brauchen wir zunächt die maximale Eindringtiefe.

Dafür plotten wir die korrigierte Zählrate gegen die Aludicke und extrapolieren, bis zur Null.

Es ergibt sich also folgendes Diagramm:

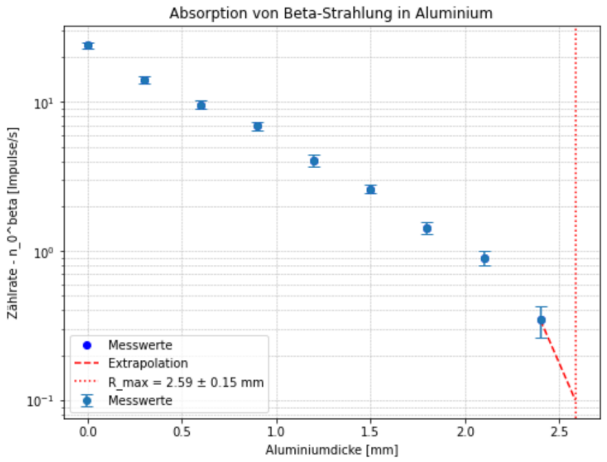


Abbildung 3.1: Zählrate vs. Aludicker

Es ergibt sich also ein Extrapolierter Wert von:

$$x_{max} = 2,59 \pm 0,15\text{mm}$$

Daraus können wir nun die Flächendichte bestimmen mit:

$$R^\beta = \rho \cdot x_{max} \tag{3.1}$$

Wobei ρ die Dichte von Aluminium ist [4]. Dabei berechnet sich der Fehler mit:

$$\Delta R^\beta = \rho \Delta x_{max} \tag{3.2}$$

So erhalten wir einen Wert von:

$$R^\beta = (0,70 \pm 0,04)\text{gcm}^{-2}$$

Daraus ergibt sich eine Energie von:

$$E_\beta = 1,55 \pm 0,4 \text{ MeV}$$

Verglichen mit dem Lietraturwert von 2,274 MeV [3] ergibt sich eine Abweichug von 1,8 σ. Dies stellt also noch keine signifikante Abweichung da.

3.2 Energie der γ Quanten

Um die Energie der γ-Quanten nach Abbildung 10 zu bestimmen plotten wir wieder die Zählrate gegen die Bleidicke. Es ergibt sich folgendes Bild:

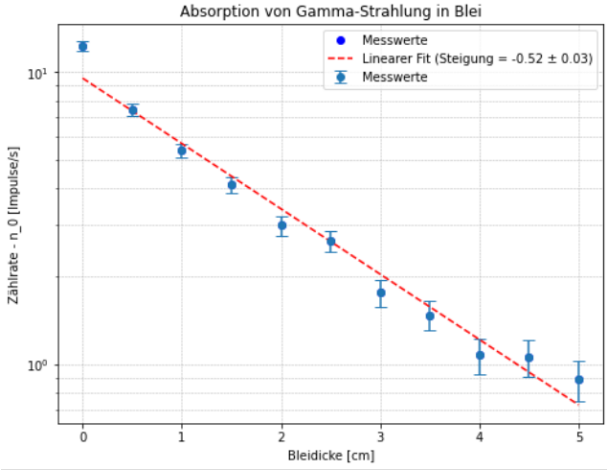


Abbildung 3.2: Zählrate vs. Bleidicke

Der Schwächungskoeefizient ist also:

$$\mu = (0,52 \pm 0,03)\ \text{cm}^{-1}$$

Daraus ergibt sich mit der Dichte von Blei [2] mit der normalen Gausschen Fehlerfortpflanzung, ein Verhältniss von:

$$\frac{\mu}{\rho} = (0,0459 \pm 0,0026)\ \text{cm}^2\text{g}^{-1}$$

Aus dem Diagramm 10 erhalten wir eine Energie von:

$$E_\gamma = 2,0 \pm 0,1\ \text{MeV}$$

Verglichen mit dem Literaturwert [3] ergibt sich dann eine Abweichugn von 6,6 σ. Dies ist ein signifikante Abweichung vom erwarteten Wert. Eine Ursache hierfür, konnte die Güte des Fits sein. Lässt man den ersten und die 3 letzten Werte beim fitten weg so ergeben sich Werte für μ und dann auch $\frac{\mu}{\rho}$, die näher an dem erwarteten Ergensiss liegen.

3.3 Bestimmung der Aktivität des γ Strahlers

Zur Bestimmung der Aktivität nutzen wir zuerst die Formel 1.5 mit dem Fehler:

$$\Delta A = \sqrt{\left(\frac{4d^2}{\epsilon r^2}\Delta n\right)^2 + \left(\frac{8dn}{\epsilon r^2}\Delta d\right)^2} \tag{3.3}$$

Wobei:

$$\Delta n = \frac{\sqrt{N}}{t} \tag{3.4}$$

Wir haben 3 Abstände gemessen, also ergeben sich folgende Werte:

d [cm]	A [MBq]
$5 \pm 0,4$	$0,82 \pm 0,13$
$10 \pm 0,4$	$0,76 \pm 0,06$
$15 \pm 0,4$	$0,90 \pm 0,06$

Tabelle 3.1: Aktivitat bei verschiednen Abständen

Es scheint als würden die Aktivitäten keinen direkten Zusammenhang mit dem Abstand haben, oder sogar zunehmen. Dies liegt daran, dass wir noch keine Raumwinkelkorrektur durchgeführt haben.

Außerdem wurden leider keine Herstellerangaben zur gegebenne Kennnummer gefunden, deswegen war kein Verleich damit möglich.

Betrachten wir die Aktivitäten also nun mit gewissen Korrekturfaktoren

3.4 Aktivität mit Korrekturfaktoren

Wir betrachen einerseits die Korrektur durch den Raumwinkel und der Absoprtion durch die Präparatskapsel. Die Raumwinklekorrektur ist notwendig, da sich über die Länge des Zählrohres der Raumwinkel ändert. Wir unterschätzen also, und überschätzen die Aktivität indem wir d im Vergleich zu l sehr groß oder sehr klein wählen (deswegen die verschiedenen Abstände).

Am Ende erhalten wir eine korrigierte Aktivität von:

$$A' = k_2 \cdot k_1 \cdot A \tag{3.5}$$

Wobei die Raumwinkelkorrektur:

$$k_1 = \left(1 + \frac{l}{2d}\right)^2 \tag{3.6}$$

mit dem Fehler:

$$\Delta k_1 = \frac{-l\left(1 + \frac{l}{2d}\right)}{d^2}\Delta d \tag{3.7}$$

und:

$$k_2 = e^{-\mu_a d} \tag{3.8}$$

wobei d die Dicke des Absorbers ist und μ_a sich bestimmt aus:

$$\mu_a = \frac{\mu}{\rho_{Pb}}\rho_a \tag{3.9}$$

mit den Fehlern:

$$\Delta\mu_a = \rho_a \cdot \Delta\frac{\mu}{\rho_{Pb}} \tag{3.10}$$

$$\Delta k_2 = \frac{-d}{e^{d\mu_a}}\Delta\mu_a \tag{3.11}$$

Damit ergibt sich für den Gesamtfehler für A':

$$\Delta A' = \sqrt{(k_1 k_2 \Delta A)^2 + (A k_2 \Delta k_1)^2 + (A k_1 \Delta k_2)^2} \tag{3.12}$$

Man erkennt das sich die Raumwinkelkorrektur mit zunehmendem d verringert, das erklärt auch das Verhalten der unkorrigierten Aktivität.

Weiternoch wurde k_2 bestimtm als:

$$k_2 = 0,95 \pm 0,07$$

Für die korrigierten Aktivitäten erhalten wir:

d [cm]	A' [MBq]
$5 \pm 0,4$	$1,52 \pm 0,25$
$10 \pm 0,4$	$1,04 \pm 0,08$
$15 \pm 0,4$	$1,09 \pm 0,07$

Tabelle 3.2: korrigierte Aktivitat bei verschiednen Abständen

Dabei ist der erste Wert ein Ausreißer aus den danach schön korrigierten Werten. Dies könnte wieder am schlechten Fit des $\frac{\mu}{\rho}$ zurückzuführen sein. Da hier dieser Wert noch mehr ins Gewicht fällt, da hier k_1 auch am größten ist.

3.5 Bestimmung der α-Strahlungsenergie

Zunächst plotten wie die Zählrate gegen den Druck, der in der Kuwette geherscht hat. Daraus ergibt sich folgendes Bild:

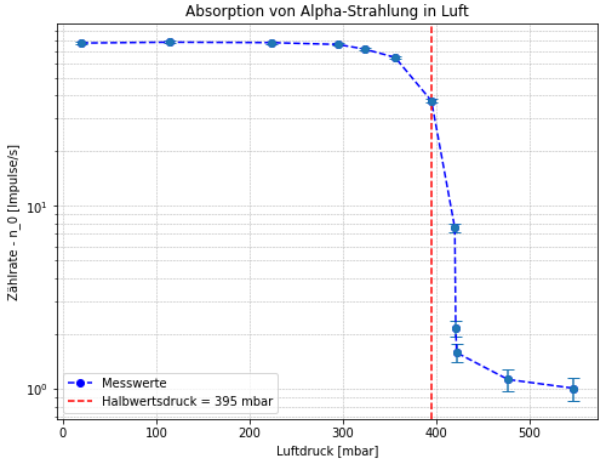


Abbildung 3.3: Zählrate vs. Luftdruck

Hierraus könenn wir den Druck bestimmen, ande, die Zählrate auf die Hälte Abgefallen ist.

$$p_{halb} = (395 \pm 10) \text{ mBar}$$

Der Fehler wurde hierbei sinnvoll abgeschätzt.

Entsprechend der Formel 1.8 können wir hierraus s_1 bestimmen.

Dabei nutzen wir die Fehlerformel:

$$\Delta s_1 = \sqrt{\left(\frac{s_0}{p_0}\Delta p_{halb}\right)^2 + \left(\frac{p_{halb}}{p_0}\Delta s_0\right)^2} \tag{3.13}$$

Es ergibt sich also:

$$s_1 = (1,54 \pm 0,04)\text{cm}$$

Anschließend brauchen wir noch 2 Korrekturfaktoren, die wir addieren müssen, sodass sich im Endeffekt ergibt:

$$R_\alpha = s_1 + s_2 + s_3 \tag{3.14}$$

Mit dem Fehler von s_1.

Wir berechnen s_2, also die zusätzliche Reichweite, wenn es kein Zählrohrfenster gäbe mit der Formel 1.9. Wir nutzen den auf dem Präparat gegeben Wert für die Flächendichte und erhalten einen Wert von:

$$s_2 \approx 1,64 \text{ cm}$$

Und s_3 war gegeben mit $s_3 = 0,68$ cm.

Letzendlich erreicht die α-Strahlung also eine Reichnweite von:

$$R_\alpha = (3,86 \pm 0,04) \text{ cm}$$

Das entsprich einer Energie von:

$$E_\alpha = (5,5 \pm 0,05) \text{ MeV}$$

Welches eine Abweichung von 0,4 σ vom Literaturwert [3] entspricht.

4. Zusamenfassung und Diskussion

Im Rahmen dieses Experiments wurde die Absorption von α-, β- und γ-Strahlung in verschiedenen Materialien untersucht. Durch die Messung der Zählraten in Abhängigkeit von der Absorberdicke konnten die charakteristischen Absorptionsverhalten dieser Strahlungsarten analysiert und relevante physikalische Größen bestimmt werden. Für die β-Strahlung wurde eine maximale Reichweite von $x_{max} = 2,59 \pm 0,15$ mm in Aluminium ermittelt, woraus sich eine Flächendichte von $R_\beta = (0,70 \pm 0,04)$ g/cm ^{2} und eine maximale Teilchenenergie von $E_\beta = 1,55 \pm 0,4$ MeV ergab. Der Vergleich mit dem Literaturwert von 2,274 MeV zeigte eine Abweichung von 1,8 σ, was keine signifikante Differenz darstellt. Für die γ-Strahlung wurde der Schwächungskoeffizient in Blei bestimmt, wobei ein Wert von $\mu = (0,52 \pm 0,03)$ cm $^{-1}$ ermittelt wurde. Dies führte zu einem Massenschwächungskoeffizienten von $\frac{\mu}{\rho} = (0,0459 \pm 0,0026)$ cm^2/g und einer daraus abgeleiteten γ-Enenergie von $E_\gamma = 2,0 \pm 0,1$ MeV. Die Abweichung vom Literaturwert war mit 6,6 σ signifikant, was auf Fehler im Fit der Daten hinweisen könnte. Eine alternative Auswertung unter Ausschluss bestimmter Messpunkte lieferte Werte näher am erwarteten Ergebnis.

Bei der Bestimmung der Aktivität des γ-Strahlers wurden Messungen bei drei verschiedenen Abständen durchgeführt. Die Anwendung von Korrekturfaktoren für den Raumwinkel sowie die Absorption in der Präparatkapsel führte zu einer konsistenteren Aktivitätsbestimmung, wobei insbesondere der Wert bei $d = 5cm$ als Ausreißer auffiel, was ebenfalls auf Fit-Probleme zurückzuführen sein könnte.

Für die α-Strahlung wurde die Reichweite durch Messung der Zählrate in Abhängigkeit vom Luftdruck bestimmt. Der Halbwertsdruck wurde mit $p_{halb} = (395 \pm 10)$ mbar ermittelt, woraus sich nach Korrekturen eine Reichweite von $R_\alpha = (3,86 \pm 0,04)$ cm ergab. Dies führte zur Energieabschätzung $E_\alpha = (5,5 \pm 0,05)$ MeV, was lediglich eine Abweichung von 0,4 σ vom Literaturwert darstellte und somit eine hohe Übereinstimmung zeigte.

Fehlerquellen in diesem Experiment könnten in mehreren Bereichen auftreten. Neben Unsicherheiten durch statistische Fluktuationen in den Messwerten spielten systematische Fehler eine Rolle, insbesondere durch geometrische Ungenauigkeiten bei der Justierung der Strahlungsquellen und der Absorber. Ebenso war die Qualität der Fits ein entscheidender Faktor, insbesondere für die γ-Strahlung, bei der die Berücksichtigung oder der Ausschluss einzelner Messpunkte große Auswirkungen auf das Ergebnis hatte. Zudem könnten Unsicherheiten in den Materialeigenschaften der Absorber, wie Variationen in der Dichte, zu zusätzlichen Fehlern geführt haben.

Insgesamt war das Experiment dennoch erfolgreich, da für β- und α-Strahlung Werte bestimmt wurden, die innerhalb akzeptabler Abweichungen zu den Literaturwerten lagen.

5. Anhang

```
    %matplotlib inline
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np


___
# Tabelle zu Aufgabe 3

d_alu_3 = np.array([0,0.3,0.6,0.9,1.2,1.5,1.8,2.1,2.4])
Impule_3 = np.array([732,437,302,221,136,371,230,166,99])
mZeit_3 = np.array([30,30,30,30,30,120,120,120,120])

_____
# Tabellen zu Aufgabe 4
d_blei_4 = np.array([0,0.5,1,1.5,2,2.5,3,3.5,4,4.5,5])
Impulse_4 = np.array([755,465,342,266,198,177,124,107,83,82,72])
mZeit_4 = np.array([60,60,60,60,60,60,60,60,60,60,60])
_____
# Tabelle zu Aufgabe 5
Abstand_5 = np.array([5,10,15])
Impulse_5 = np.array([9658,2254,1186])
mZeit_5 = np.array([60,60,60])
_____
# Tabelle zu Aufgabe 6
Druck_6 = np.array([20,115,224,295,323,356,395,420,421,422,477,547])
Impulse_6 = np.array([4649,4698,4673,4566,4312,3886,2254,472,147,113,86,79])
mZeit = np.array([60,60,60,60,60,60,60,60,60,60,60,60])
_____

from scipy.optimize import curve_fit


n_0_beta = 0.48

messzeit = mZeit_3  # in Sekunden
impulse = Impule_3  # Anzahl der Impulse
alu_dicke = d_alu_3  # in mm


# Berechnung der Z hlrate und Fehler
z hlrate = impulse / messzeit
```

```
z_hlrate_korrigiert = z_hlrate - n_0_beta
fehler_z_hlrate = np.sqrt(impulse) / messzeit

# Bestimmung der maximalen Reichweite durch lineare Extrapolation
x1, x2 = alu_dicke[-2], alu_dicke[-1]
y1, y2 = z_hlrate_korrigiert[-2], z_hlrate_korrigiert[-1]

# Geradengleichung bestimmen
a = (y2 - y1) / (x2 - x1)
b = y1 - a * x1

# Extrapolationspunkt bestimmen (wo die gerad Null wird)
x_max = -b / a
fehler_x_max = (alu_dicke[-1] - alu_dicke[-2]) / 2  # Grobe Fehlerabsch tzung

# Plot auf halblogarithmischem
plt.figure(figsize=(8, 6))
plt.errorbar(alu_dicke, z_hlrate_korrigiert, yerr=fehler_z_hlrate, fmt='o', la
plt.semilogy(alu_dicke, z_hlrate_korrigiert, 'bo', label='Messwerte')
plt.semilogy([x2, x_max], [y2, 0.1], 'r--', label='Extrapolation')  # 0.1 als un
plt.axvline(x_max, color='r', linestyle=':', label=f'R_max = {x_max:.2f}     {fehl

# Achsenbeschriftung und Titel
plt.xlabel("Aluminiumdicke [mm]")
plt.ylabel("Z_hlrate - n_0^beta [Impulse/s]")
plt.title("Absorption von Beta-Strahlung in Aluminium")
plt.legend()
plt.grid(True, which='both', linestyle='--', linewidth=0.5)

plt.show()
```

```
n_0_gamma = 0.31

messzeit = mZeit_4  # in Sekunden
impulse = Impulse_4 # Anzahl der Impulse
blei_dicke = d_blei_4  # in cm

# Berechnung der Z_hlrate und Fehler
z_hlrate = impulse / messzeit
z_hlrate_korrigiert = z_hlrate - n_0_gamma
```

```
fehler_z hlrate = np.sqrt(impulse) / messzeit  # Poisson-Fehler

# Logarithmus der korrigierten Z hlrate f r linearen Fit
log_z hlrate = np.log(z hlrate_korrigiert)

# Lineare Regression durchf hren
slope, intercept, r_value, p_value, std_err = linregress(blei_dicke, log_z hlrat

# Fit-Funktion
def linear_fit(x):
    return slope * x + intercept

# Generiere Fit-Kurve
x_fit = np.linspace(min(blei_dicke), max(blei_dicke), 100)
y_fit = linear_fit(x_fit)

# Plot auf halblogarithmischem Papier
plt.figure(figsize=(8, 6))
plt.errorbar(blei_dicke, z hlrate_korrigiert, yerr=fehler_z hlrate, fmt='o', la
plt.semilogy(blei_dicke, z hlrate_korrigiert, 'bo', label='Messwerte')
plt.semilogy(x_fit, np.exp(y_fit), 'r--', label=f'Linearer Fit (Steigung = {slope

# Achsenbeschriftung und Titel
plt.xlabel("Bleidicke [cm]")
plt.ylabel("Z hlrate - n_0 [Impulse/s]")
plt.title("Absorption von Gamma-Strahlung in Blei")
plt.legend()
plt.grid(True, which='both', linestyle='--', linewidth=0.5)

plt.show()
```

```
n_0_alpha = 0.31

messzeit = mZeit  # in Sekunden
impulse = Impulse_6  # Anzahl der Impulse
luftdruck = Druck_6  # in mbar

# Berechnung der Z hlrate und Fehler
z hlrate = impulse / messzeit
z hlrate_korrigiert = z hlrate - n_0_alpha
fehler_z hlrate = np.sqrt(impulse) / messzeit  # Poisson-Fehler
```

```
# Bestimmung des Drucks, bei dem die Z hlrate auf die H lfte f llt
halbwert = max(z hlrate_korrigiert) / 2
halbwert_index = np.argmin(np.abs(z hlrate_korrigiert - halbwert))
halbwert_druck = luftdruck[halbwert_index]

# Plot auf halblogarithmischem Papier
plt.figure(figsize=(8, 6))
plt.errorbar(luftdruck, z hlrate_korrigiert, yerr=fehler_z hlrate, fmt='o',
capsize=5)
plt.semilogy(luftdruck, z hlrate_korrigiert, 'bo', label='Messwerte',linestyle=
plt.axvline(halbwert_druck, color='r', linestyle='--', label=f'Halbwertsdruck =

# Achsenbeschriftung und Titel
plt.xlabel("Luftdruck [mbar]")
plt.ylabel("Z hlrate - n_0 [Impulse/s]")
plt.title("Absorption von Alpha-Strahlung in Luft")
plt.legend()
plt.grid(True, which='both', linestyle='--', linewidth=0.5)

plt.show()
```

Quellen- und Literaturverzeichnis

[1] Captain Joni: *pap1-tex-vorlage*. https://github.com/captain-joni/pap1-tex-vorlage. – [Online; Stand 28.08.2024]

[2] Chemie Info: *Dichte Blei*. https://www.chemie.de/lexikon/Blei.html. – [Online; Stand 04.03.2025]

[3] Dr. J.Wagner: *Physikalisches Praktikum 1 f¨ur Studierende der Physik B.Sc.* https://www.physi.uni-heidelberg.de/Einrichtungen/AP/info/Corona/PAP1.pdf. – [Online; Stand 01/2014]

[4] Maschienenbau-Wissen: *Dichte Alu*. https://www.maschinenbau-wissen.de/skript3/werkstofftechnik/aluminium/376-dichte-alu. – [Online; Stand 04.03.2025]