

Versuch 253: Absorption von α , β und γ Strahlung

Yago Obispo Gerster

6. Mai 2024

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation	1
1.1	Physikalische Grundlagen	2
1.1.1	Arten radioaktiver Strahlung	2
1.1.2	Absorption radioaktiver Strahlung	3
1.1.3	Schwächungsmechanismen	3
2	Messprotokoll	3
3	Auswertung	6
3.1	Absorption von β -Strahlung	6
3.2	Absorption von γ -Strahlung	7
3.3	Bestimmung der Aktivität	9
3.3.1	Unkorrigierte Aktivität	9
3.3.2	Raumwinkel-Korrektur	9
3.3.3	Absorptionskorrektur	10
3.3.4	Zu erwartende Aktivitäten aus Herstellerangaben	11
3.4	Absorption von α -Strahlung	11
4	Zusammenfassung und Diskussion	13
4.1	Diskussion	13
5	Quellen und Python Code	15

1 Einleitung und Motivation

Das Ziel des Versuches besteht darin, uns mit der Absorption von radioaktiven Strahlung auseinanderzusetzen. Dabei sollen die Absorptionskurven von α -Strahlen (^{241}Am), β -Strahlen ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$) und γ -Strahlen (^{60}Co) gemessen werden. Weiterhin soll die Maximalenergie der β -Strahlung und die Energien der α und γ -Strahlung bestimmt werden sowie die Aktivität des γ -Strahlers abgeschätzt werden.

1.1 Physikalische Grundlagen

1.1.1 Arten radioaktiver Strahlung

Unter *Radioaktivität* versteht man die Eigenschaft instabiler Atomkerne unter Energieabgabe in einen energetisch günstigeren Zustand überzugehen. Hat man einen Bestand aus N_0 radioaktiven Kernen, so gilt nach dem Zerfallsgesetz für den Bestand:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Wobei λ die Zerfallskonstante beschreibt, welche mit der Halbwertszeit $T_{1/2}$ - d.h. der Zeit nach welcher die Hälfte der Kerne statistisch zerfallen ist - wie folgt zusammenhängt:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad (2)$$

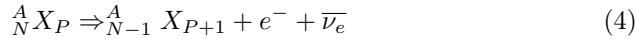
Prinzipiell unterscheidet man unter drei verschiedenen Strahlungsarten.

Die **α -Strahlung** besteht aus zweifach positiv geladenen Heliumkernen. Seien A die Massenzahl (Protonen + Neutronen), N die Neutronenanzahl und P die Protonenanzahl eines Nuklides X , so verläuft der Zerfall in diesem Fall nach dem Schema

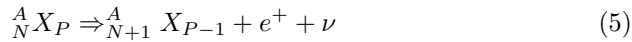


Aufgrund der diskreten Quantenzustände im Kern ist diese Strahlungsart monoenergetisch und charakteristisch für den entsprechenden Stoff.

Die **β -Strahlung** unterteilt sich in einen β^- -Strahlungstyp, bei welchem ein Elektron e^- und ein Antineutrino $\bar{\nu}_e$ nach dem Schema



emittiert werden und in den β^+ -Typ, bei welchem ein positiv geladenes Positron e^+ und ein Neutrino ν gemäss



emittiert werden. Bei beiden Typen ist das abgegebene Energiespektrum kontinuierlich, da sich die Energie auf drei Teilchen beliebig bis zu einer maximal freiwerdenden Energie E_{max}^β aufteilen kann. Diese maximale Energie ist wieder stoffabhängig. Der Rückstoss des Restkerns ist in diesem Fall wegen der kleinen Masse des Elektrons deutlich kleiner als im α -Fall.

Die **γ -Strahlung** besteht aus elektromagnetischer Strahlung. Sie entsteht beim Übergang eines Kerns von einem angeregten Zustand in einen niedrigeren Zustand. Da nur einige Zustandsübergänge möglich sind, ist das Energiespektrum wieder diskret und für den Stoff charakteristisch.

1.1.2 Absorption radioaktiver Strahlung

α und β -Strahlung wird in Materie über Wechselwirkung mit den Elektronen der Atomhüllen gebremst. Die Energie wird kontinuierlich und portionsweise bei Ionisierung abgegeben, wobei der Energieverlust umgekehrt proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit ist.

Die Reichweite von α -Strahlung ist proportional zur Energie des Teilchens, weshalb man durch geeignete Wahl der Absorberdicke auch die Energie des Teilchens bestimmen kann. Man erwartet unter einer kritischen Dicke, dass alle α -Teilchen den Stoff durchdringen, und dass die Anzahl an durchdringenden Teilchen ab dieser kritischen Dicke dann schnell abfällt.

Die Absorption von β -Teilchen ist um einiges komplizierter da die Elektronen deutlich weniger Masse haben und somit bei gleicher Energie schneller sind. Im Absorber werden diese mehrmals abgelenkt, sodass diese eine deutlich längere Strecke als die Absorberdicke hinterlegen können, weshalb die Absorptionskurve verwaschen wird.

Die Energie der γ -Strahlung wird nach dem Lambert-Beer-Gesetz absorbiert

$$n = n_0 e^{-\mu x} \quad (6)$$

Dabei bezeichnet μ den Schwächungskoeffizienten des Materials.

1.1.3 Schwächungsmechanismen

Bei der γ -Strahlung sind vor allem 3 Mechanismen für die Abschwächung verantwortlich: Der Fotoeffekt, die Compton-Streuung und die Paarbildung.

Der *Fotoeffekt* bezeichnet die Übertragung der Energie des γ -Quanten an ein Elektron der Atomhülle, wodurch dieses aus der Hülle geschlagen wird. Die Nachrückung äußerer Elektronen führt zu der Emission weiterer diskreter, charakteristischer Strahlung.

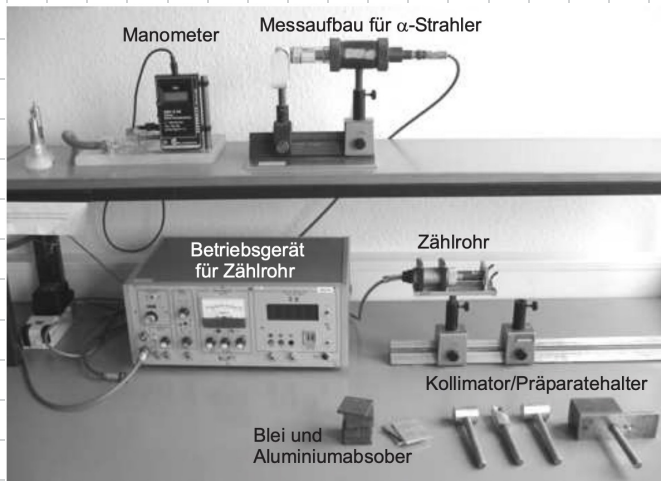
Bei der *Compton-Streuung* gibt der γ -Quant nur ein Teil seiner Energie an ein Hüllenelektron ab, indem es zu einer inelastischen Streuung kommt.

Bei Energien über $1,022\text{MeV}$ kommt es zur Paarbildung, d.h. der Quant kann in ein Elektron-Positron-Paar zerfallen, wobei die Überschussenergie auf die kinetische Energie aufgeteilt wird.

Anhand von Abbildung 1 kann man erkennen unter welchen Energien welcher der drei Mechanismen entscheidend für die Abschwächung ist. Dabei kann man erkennen, dass für kleine Energien der Photoeffekt dominiert, für mittlere Energien die Compton Streuung und für hohe Energien die Paarbildung.

2 Messprotokoll

1. Versuchsaufbau:



2. Materialien:

- GM-Zählrohr
- Zählgasart
- evakuiertes Glaszylinder mit Zählrohr und ^{241}Am -Präparat
- β -Präparat ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$)
- γ -Präparat (^{60}Co)
- Kollimator
- Pb, Al Absorber
- Vakuumpumpe

2.1 Untergundmessung:

$$\Delta t = 300\text{s} \quad n = 127 \Rightarrow \frac{n}{\Delta t} = 0,43 \quad V = (520 \pm 5)\text{V}$$

2.2 Absorption Gamma-Strahlung

Tabelle 1: Absorption

$$\Delta t_n = 1\text{min} \quad V = (520 \pm 5)\text{V} \quad d = 5\text{mm}$$

$d \pm 0$	0d	1d	2d	3d	4d	5d	6d	7d	8d
$n \pm 1\sigma$	1357	850	680	527	410	273	224	154	109

$d \pm 0$	9d	10d
$n \pm 1\sigma$	119	100

Identifikationsnummer: U.S. 536

Durchmesser Zählrohr: 14mm

2.3 Aktivität des Gammastreuhlers

Tabelle 2: Aktivität

$$V = (520 \pm 5) \text{ V}$$

$d \pm 0,2 \text{ cm}$	5 cm	10 cm	20 cm
$n \pm 1\sigma$	14087	3808	1048

2.4 Absorption von β -Strahlung in Al

Kennnummer: CT 872

Tabelle 3: Absorption β -Strahlung $d = 0,3 \text{ mm}$

$$\Delta t_m = 30 \text{ s}$$

$$\Delta t_m = 120 \text{ s}$$

$$\alpha = 6 \text{ cm}$$

$d \pm 0$	0 d	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	8 d
$n \pm 1\sigma$	1162	763	502	303	179	134	85	52	127

$d \pm 0$	9 d	10 d	11 d	12 d	13 d	14 d	15 d
$n \pm 1\sigma$	108	89	80	72	78	77	187

2.5 Absorptionsmessung von α -Teilchen

Abstand Zählrohr: 4,45 cm

Flächendichte des Glimmerfensters: $2,35 \text{ mg/cm}^2$

Tabelle 4: Absorption α -Strahlung

$p \pm 3 \text{ mm}$	20	170	270	320	420	520	620	720
$n \pm 1\sigma$	12846	12804	11974	7590	1622	915	727	244

F. G. L.

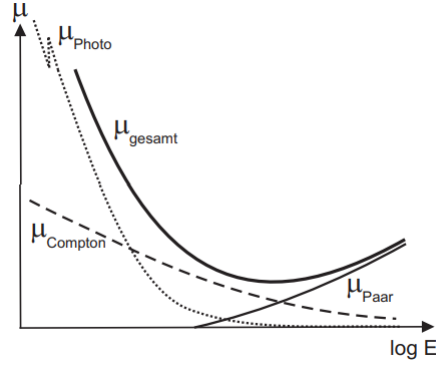


Abbildung 1: Vergleich der Abschwächungsmechanismen

3 Auswertung

Bevor mit dem eigentlichen Versuch begonnen wurde, musste das Zählrohr in Betrieb genommen werden und eine Messung des Nulleffekts n_0 wurde durchgeführt. Dabei wurde dieser im Messprotokoll zu

$$n_0 = (0,43 \pm 0,04) \frac{1}{s} \quad (7)$$

bestimmt. Für den Fehler wurde die Wurzel der gezählten Ereignisse verwendet. Dieser Nulleffekt wird in einigen der kommenden Versuchsschritte benötigt.

3.1 Absorption von β -Strahlung

Im ersten Versuchsschritt wird die Absorption von β -Strahlung durch Aluminium untersucht. Dazu wird das $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ -Präparat verwendet. Unser Präparat hatte den Kenncode CT872.

Dabei wurde zunächst eine Messung der Zählrate ohne Abschirmung durchgeführt und daraufhin wurden nacheinander 0,3mm dicke Aluminiumplatten vor das Zählrohr gelegt. Dabei wurde 30s lang jeweils gemessen und bei kleinen Zählraten 2min. Nach Erreichen des Nulleffektes wurde noch eine Messung mit 1mm Aluminium durchgeführt für eine Messzeit von 5min. Dieser Wert wird als Nulleffekt n_0^β berücksichtigt.

Trägt man $n - n_0^\beta$ gegen die Absorberdicke x in ein halblogarithmisches Diagramm auf, so kann die maximale Reichweite der Strahlung in Aluminium ermittelt werden, indem auf die Dicke extrapoliert wird, bei der die Absorptionskurve nahezu senkrecht verläuft.

Wir erhalten den Verlauf in Abbildung 2. Die maximale Reichweite ergibt sich damit aus den Fitparametern der Anpassung (siehe Python-Code):

$$x_{max} = (2,74 \pm 0,08) \text{mm} \quad (8)$$

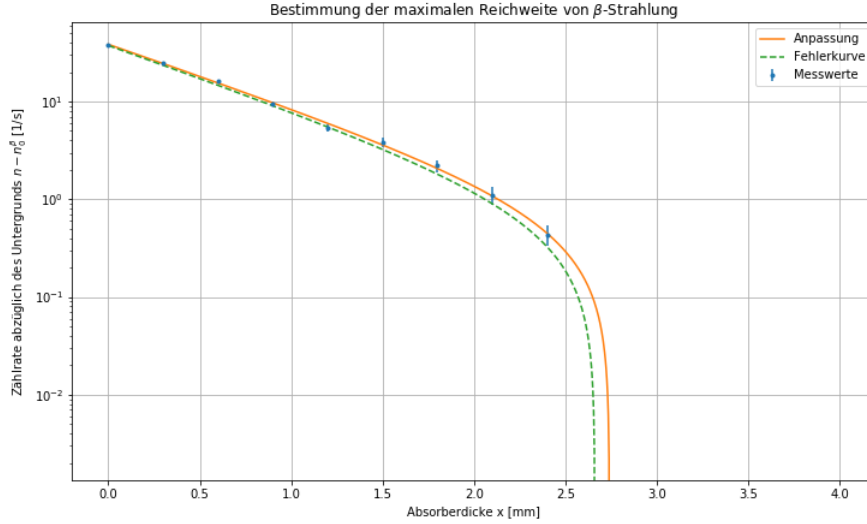


Abbildung 2: Absorptionskurve Beta-Strahlung

Mit diesem Ergebnis können wir zusammen mit der Dichte von Aluminium $\rho_{Al} = 2,7 \text{ g/cm}^3$ die Flächendichte bestimmen:

$$R_{Al}^{\beta} = \rho_{Al} \cdot x_{max} \quad (9)$$

$$\Delta R_{Al}^{\beta} = \rho_{Al} \Delta x_{max} \quad (10)$$

Wir erhalten:

$$R_{Al}^{\beta} = (0,740 \pm 0,022) \text{ g/cm}^2 \quad (11)$$

Addiert man noch die Flächendichte des Fensters von $0,13 \text{ g/cm}^2$ hinzu, so erhält man:

$$R^{\beta} = (0,870 \pm 0,022) \text{ g/cm}^2 \quad (12)$$

Mit Abbildung 8 des Praktikumsskripts kann somit diesem Wert die Maximalenergie der β -Strahlung zugeordnet werden:

$$E_{\beta} = (1,75 \pm 0,20) \text{ MeV} \quad (13)$$

Der Fehler wurde dabei als Ablesefehler des Graphen abgeschätzt.

3.2 Absorption von γ -Strahlung

Im zweiten Versuchsschritt haben wir uns mit der Absorption von γ -Strahlung in Blei beschäftigt. Das ^{60}Co Präparat was verwendet wurde trug die Kennzahl

UB596. Dieses wurde in den rechteckigen Bleikollimator eingeschraubt und es wurde in einem Abstand von 15cm zwischen Zählrohr und Präparat gemessen. Dabei wurde anfänglich eine Messung ohne Abschirmung durchgeführt und daraufhin in Schritten von $0,5\text{cm}$ Bleiplatten hinzugefügt. Die Absorberdicke wurde bis 5cm variiert und die Messzeit betrug jeweils 1min .

Analog wie davor tragen wir die Zählrate abzüglich des Untergrundes gegen die Absorberdicke halblogarithmisch grafisch auf (siehe Abbildung 3).

Über die Fitparameter kann damit der Schwächungskoeffizient zu

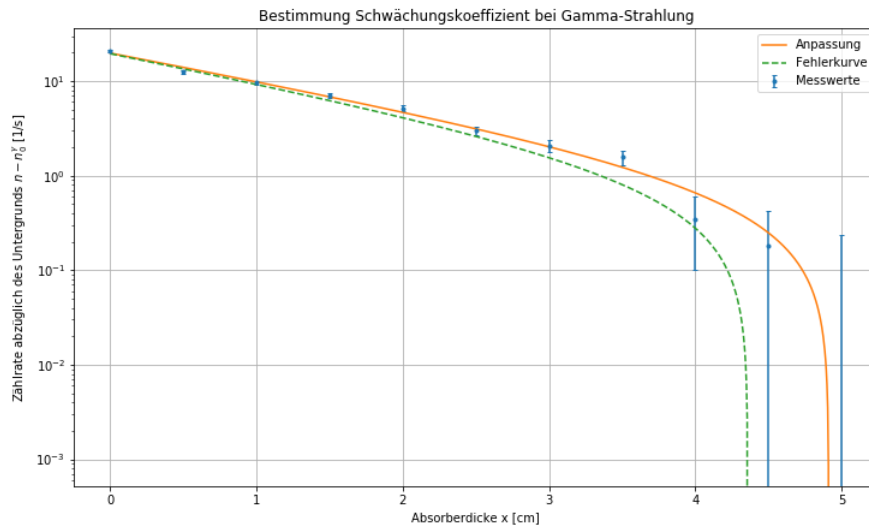


Abbildung 3: Absorptionsverlauf bei Gamma-Strahlung

$$\mu = (0,66 \pm 0,05) \frac{1}{\text{cm}} \quad (14)$$

bestimmt werden. Um eine materialunabhängige Grösse zu erhalten ist es ausserdem sinnvoll den Schwächungskoeffizienten durch die Dichte von Blei von $11,34\text{g/cm}^3$ zu teilen. Der Fehler skaliert ebenfalls mit dem Inversen der Dichte. Ich erhalte:

$$\mu_{unabh} = (0,058 \pm 0,005) \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \quad (15)$$

Aus der Abbildung 9 des Praktikumsskripts kann damit die Energie der Gamma-Quanten bestimmt werden:

$$E_\gamma = (1,30 \pm 0,20) \text{MeV} \quad (16)$$

Der Fehler entspricht dem abgeschätzten grafischen Ablesefehler.

3.3 Bestimmung der Aktivität

Im dritten Schritt wollen wir die Aktivität des γ -Strahlers bestimmen (verwendetes Präparat: $UB596$). Dazu wird das ^{60}Co -Präparat in den Bleizylinder mit kegelförmiger Öffnung eingeschraubt und in Abständen von 5cm bzw. 10cm und 20cm wird die Zählrate 1min lang gemessen.

3.3.1 Unkorrigierte Aktivität

Wir erinnern uns, dass die Aktivität die Zerfälle pro Sekunde in allen Raumrichtungen berücksichtigt. Entsprechend muss über eine gesamte Kugeloberfläche gemessen werden. Wir können dabei jedoch nur in einem Raumwinkel Ω messen, welcher für grosse Abstände d zwischen Präparat und Zählrohr gegen den Zählrohrradius r in erster Näherung mit

$$\Omega = \frac{\pi r^2}{d^2} \quad (17)$$

bestimmt werden kann. Für die Aktivität folgt

$$A = \frac{4\pi n}{\epsilon\Omega} = \frac{4nd^2}{\epsilon r^2} \quad (18)$$

$$\Delta A = \sqrt{\left(\frac{4d^2\Delta n}{\epsilon r^2}\right)^2 + \left(\frac{4dn\Delta d}{\epsilon r^2}\right)^2} \quad (19)$$

wobei n die Zählrate beschreibt und ϵ für die Ansprechwahrscheinlichkeit des Zählrohrs steht, die bei der zu untersuchenden γ -Strahlung bei $\epsilon = 4\%$ liegt. Damit kann zunächst die unkorrigierte Aktivität des γ -Strahlers berechnet werden. Ich erhalte damit folgende drei unkorrigierten Aktivitäten:

$$A_5 = (1,20 \pm 0,10) \times 10^6 \frac{1}{s} \quad (20)$$

$$A_{10} = (1,30 \pm 0,06) \times 10^6 \frac{1}{s} \quad (21)$$

$$A_{20} = (1,43 \pm 0,05) \times 10^6 \frac{1}{s} \quad (22)$$

Die drei gemessenen Aktivitäten dürfen dabei auf keinen Fall gemittelt werden, da diese unter unterschiedlichen Abständen gemessen wurden. Wie wir im nächsten Teil sehen werden müssen einige Korrekturen gemacht werden. Diese sind dabei hochgradig von dem Abstand abhängig.

3.3.2 Raumwinkel-Korrektur

Die Näherung für Ω konnte jedoch nur gemacht werden unter der Voraussetzung dass die Strahlung direkt am Zählrohreingang detektiert wird. Diese Annahme stimmt jedoch nicht ganz, da dieses auf seiner gesamten Länge von 4cm detektieren kann. Es ergibt sich eine Überschätzung des Raumwinkels und Unterschätzung der Aktivität. Ein möglicher Ansatz um den Raumwinkel abzuschätzen

indem man sich erhofft, dass der überschätzte und unterschätzte Bereich sich jeweils aufheben kann gewählt werden durch:

$$\Omega = \frac{\pi r^2}{(d + l/2)^2} \quad (23)$$

Für die korrigierte Aktivität folgt:

$$A_{korrr} = \frac{4n(d + l/2)^2}{\epsilon r^2} = Ak_1 \quad (24)$$

$$\Delta A_{korrr} = \sqrt{\left(\frac{\Delta n 4(l/2 + d)^2}{\epsilon r^2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d 4n(2d + l)}{\epsilon r^2}\right)^2} \quad (25)$$

Für die korrigierten Aktivitäten erhalte ich

$$A_{5korrr} = (2,35 \pm 0,14) \times 10^6 \frac{1}{s} \quad (26)$$

$$A_{10korrr} = (1,87 \pm 0,07) \times 10^6 \frac{1}{s} \quad (27)$$

$$A_{20korrr} = (1,73 \pm 0,06) \times 10^6 \frac{1}{s} \quad (28)$$

Damit können ebenfalls die Korrekturfaktoren über das Verhältnis der korrigierten mit der unkorrigierten berechnet werden:

$$k_5 = 1.96 \pm 0.19 \quad (29)$$

$$k_{10} = 1.44 \pm 0.08 \quad (30)$$

$$k_{20} = 1.21 \pm 0.06 \quad (31)$$

Dabei beobachtet man, dass bei wachsendem Abstand der Korrekturfaktor sich immer weiter der 1 annähert, d.h. für unendliche Abstände würde dieser den Wert 1 annehmen. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die Länge des Rohres für grosse Abstände relativ gesehen vernachlässigbar klein wird.

3.3.3 Absorptionskorrektur

Weiter kann die Aktivitätsbestimmung korrigiert werden, indem die Absorption in der Präparatkapsel berücksichtigt wird. Dabei gilt:

$$A_{abgeschirmt} = A_{offen} e^{-\mu x} = A_{offen} k_2 \quad (32)$$

$$\Delta A_{abgeschirmt} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \mu A_{korrr} e^{\mu}}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A_{korrr}}{e^{\mu x}}\right)^2} \quad (33)$$

Dabei ist μ der Schwächungskoeffizient im Absorbermaterial. Dieser kann gemäss

$$\frac{\mu}{\rho_{Pb}} \rho_{Absorber} \quad (34)$$

bestimmt werden.

$$A_{52xkorr} = (2,35 \pm 0,13) \times 10^6 \frac{1}{s} \quad (35)$$

$$A_{102xkorr} = (1,75 \pm 0,07) \times 10^6 \frac{1}{s} \quad (36)$$

$$A_{202xkorr} = (1,62 \pm 0,06) \times 10^6 \frac{1}{s} \quad (37)$$

Für die Korrekturfaktoren erhalte ich:

$$k_5 = 0,94 \pm 0.12 \quad (38)$$

$$k_{10} = 0,94 \pm 0.06 \quad (39)$$

$$k_{20} = 0,94 \pm 0.05 \quad (40)$$

3.3.4 Zu erwartende Aktivitäten aus Herstellerangaben

Wir haben im Versuch das Präparat *UB596* verwendet. Dieses wurde am 02.02.2015 hergestellt (bis zum Versuchstag entsprechen dies 3308 Tage). Laut Hersteller beträgt die Halbwertszeit dabei $T_{1/2} = 1923,55$ Tage. Als das Präparat hergestellt wurde, hatte dies eine Aktivität von $A_0 = 3,7 \times 10^6 \frac{1}{s}$. Weiterhin ist uns die Aktivität zum 01.01.2021 bekannt: $A_{021} = 1,7 \times 10^6 \frac{1}{s}$. Damit kann die zu erwartende Aktivität berechnet werden, wobei als Fehler die Differenz der Erwartungswerte zwischen der berechneten Aktivität mit den Herstellungstagen und der mit den Daten von 2021 verwendet:

$$A_{erwartung} = A_0 e^{\frac{-\ln 2 t}{T_{1/2}}} \quad (41)$$

$$= (1,1738 \pm 0,0008) \times 10^6 \frac{1}{s} \quad (42)$$

3.4 Absorption von α -Strahlung

Daher dass die Reichweite von α -Strahlung sehr gering ist, eignet sich bereits Luft um diese zu absorbieren. Deshalb betrachten wir in diesem Versuchsteil eine Präparat in einem evakuierten Glaskolben mit einem Zählrohr. Nachdem dieser auf $20mbar$ evakuiert wurde, werden für verschiedene Drücke (je $100mbar$) für $1min$ die Zählrate bestimmt.

Die Messwerte können in ein Diagramm aufgetragen werden (siehe Abbildung 4 und der Druck, bei welchem die Zählrate auf die Hälfte abgesunken ist bestimmt werden. Dieser Druck wurde über die Fitparameter zu:

$$p_{1/2} = (440 \pm 100)mbar \quad (43)$$

bestimmt, indem

$$p_{1/2} = \frac{\frac{n_{max}}{2} - b}{a} \quad (44)$$

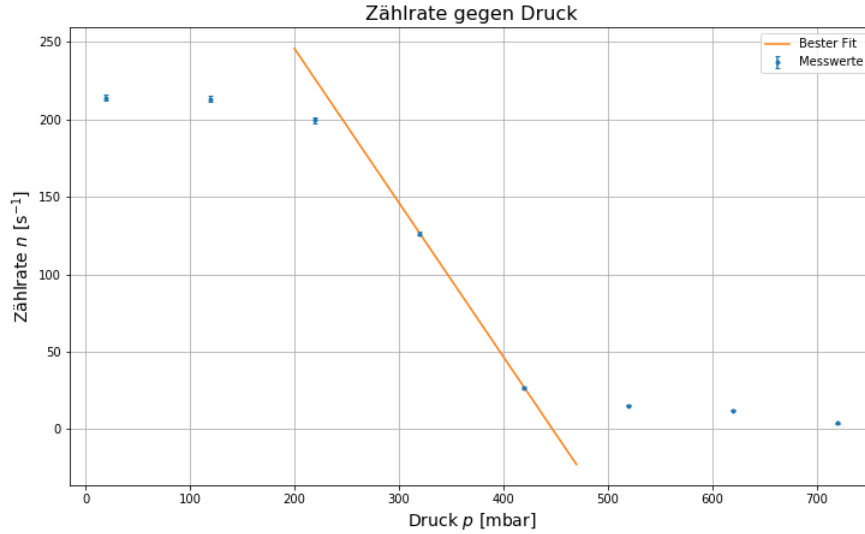


Abbildung 4: Zählrate gegen Druck bei Alpha-Strahlung

verwendet wurde (mit Steigung a und y-Abschnitt b).
Der Abstand beträgt dabei $s_0 = (3,95 \pm 0,05)cm$. Für die Reichweite gilt

$$s_1 = \frac{p_{1/2}s_0}{p_0} \quad (45)$$

wobei $p_0 = 1013mbar$ den Normaldruck beschreibt. Damit erhalte ich

$$s_1 = (1,7 \pm 0,4)cm \quad (46)$$

Dieser Wert muss jedoch noch mit einigen Korrekturen versehen werden. Durch das Zählrohrfenster geht ein wenig Reichweite verloren. Dies kann in

$$s_2 = \frac{\rho Gl}{1,43mg/cm^2} \cdot 1cm \quad (47)$$

berücksichtigt werden.

Weiterhin muss beachtet werden, dass die ^{241}Am -Quelle mit einer $3\mu m$ dicken Goldschuttschicht bedampft ist. Diese ist per Praktikumsskript äquivalent zu einer Luftschicht mit Dicke $s_3 = 0,68cm$. Werden s_1 , s_2 und s_3 miteinander aufaddiert, so erhält man die gesamte Reichweite:

$$s = (4,0 \pm 0,4)cm \quad (48)$$

Dies entspricht nach Abbildung 8 aus dem Praktikumsskript einer Energie von

$$E^\alpha = (5,6 \pm 0,5)MeV \quad (49)$$

4 Zusammenfassung und Diskussion

Zusammenfassend haben wir uns in diesem Versuch mit den unterschiedlichen Strahlungsarten auseinandergesetzt und insbesondere mit dem jeweiligen Absorptionsverhalten.

Im ersten Schritt haben wir uns mit der β -Strahlung beschäftigt. Hier haben wir die Zählrate abzüglich des Untergrundes gegen die Absorberdicke aufgetragen, um über den Fit die maximale Reichweite bestimmen zu können. Diese wurde verwendet um die Flächendichte zu bestimmen: $R^\beta = (0,870 \pm 0,022)g/cm^2$. Dabei lieferte uns das Praktikumsskript einen grafischen Zusammenhang zwischen der bestimmten Flächendichte und der Maximalenergie. Damit konnte diese zu $E_\beta = (1,75 \pm 0,20)MeV$ bestimmt werden.

Im zweiten Schritt haben wir uns mit der Absorption von γ -Strahlung in Blei beschäftigt. Um den Schwächungskoeffizienten bestimmen zu können wurde erneut die Zählrate auf den Untergrund korrigiert gegen die Absorberdicke aufgetragen. Mit den Anpassungsparametern haben wir letztendlich $\mu = (0,66 \pm 0,05) \frac{1}{cm}$ erhalten und für die materialunabhängige Schwächungskonstante $\mu_{unabh} = (0,058 \pm 0,005) \frac{cm^2}{g}$. Wieder war im Praktikumsskript ein Diagramm angegeben mit welchem wir der Schwächungskonstanten eine Energie der Gamma Quanten zuordnen konnten: $E_\gamma = (1,30 \pm 0,20)MeV$.

Im dritten Schritt wurde die Aktivität des γ -Strahlers bestimmt. Diese wurde zunächst unkorrigiert ermittelt zu $A_5 = (1,20 \pm 0,10) \times 10^6 \frac{1}{s}$, $A_{10} = (1,30 \pm 0,06) \times 10^6 \frac{1}{s}$ und $A_{20} = (1,43 \pm 0,05) \times 10^6 \frac{1}{s}$, daraufhin wurde eine Raumwinkel-Korrektur durchgeführt, mit welcher wir $A_{5korr} = (2,35 \pm 0,14) \times 10^6 \frac{1}{s}$, $A_{10korr} = (1,87 \pm 0,07) \times 10^6 \frac{1}{s}$ und $A_{20korr} = (1,73 \pm 0,06) \times 10^6 \frac{1}{s}$ erhalten haben und zuletzt lieferte uns eine Absorptionskorrektur $A_{52xkorr} = (2,35 \pm 0,13) \times 10^6 \frac{1}{s}$, $A_{102xkorr} = (1,75 \pm 0,07) \times 10^6 \frac{1}{s}$ und $A_{202xkorr} = (1,62 \pm 0,06) \times 10^6 \frac{1}{s}$.

Um die ermittelten Grössen in der Diskussion mit einem Herstellerwert vergleichen zu können, wurden die zu erwartenden Aktivität aus Herstellerangaben zu $A_{erwartung} = (1,1738 \pm 0,0008) \times 10^6 \frac{1}{s}$ berechnet.

Im letzten Schritt haben wir uns noch mit dem letzten Strahlungsfall, der α -Strahlung beschäftigt. Da Luft bereits ausreichend ist um diese zu absorbieren, wurde ein evakuierter Glaskolben mit einem Zählrohr verwendet. Die Zählrate wurde gegen den eingestellten Druck grafisch aufgetragen und mithilfe des Druckwertes bei welchem die Zählrate zur Hälfte abgenommen hatte konnte die Reichweite berechnet werden. Um diese zu korrigieren mussten zwei Korrekturterme hinzuaddiert werden. Einer welcher den Einfluss des Zählrohrfensters berücksichtigte und einer der die Bedampfung durch eine Goldschuttschicht miteinbezog. Insgesamt erhalten wir dadurch einen korrigierten Wert von $s = (4,0 \pm 0,4)cm$, was einer Energie von $E^\alpha = (5,6 \pm 0,5)MeV$ entspricht.

4.1 Diskussion

Im Anschluss werde ich die berechneten Werte mit den zu erwartenden Werten verlichen, die Fehlerquellen kritisch untersuchen und einige Verbesserungsvorschläge dafür präsentieren, wie die Durchführung verbessert werden könnte.

Für die Sigma-Abweichung wird die bekannte Formel

$$\frac{|Wert1 - Wert2|}{\sqrt{Fehler1^2 + Fehler2^2}} \quad (50)$$

verwendet.

In Tabelle 1 werden die wichtigsten Ergebnisse mit deren Literaturwert verglichen (welche dem Praktikumsskript entnommen werden): Dabei können wir

Grösse	Messwert	Literaturwert	Sigma
E_α	$(5,6 \pm 0,5) MeV$	5,48 MeV	0,24
E_β	$(1,75 \pm 0,20) MeV$	2,274 MeV	2,6
E_γ	$(1,30 \pm 0,20) MeV$	1,333 MeV	0,17
A_5	$(2,35 \pm 0,13) \times 10^6 \frac{1}{s}$	$(1,1738 \pm 0,0008) \times 10^6 \frac{1}{s}$	9
A_{10}	$(1,75 \pm 0,07) \times 10^6 \frac{1}{s}$	$(1,1738 \pm 0,0008) \times 10^6 \frac{1}{s}$	8
A_{20}	$(1,62 \pm 0,06) \times 10^6 \frac{1}{s}$	$(1,1738 \pm 0,0008) \times 10^6 \frac{1}{s}$	7

Tabelle 1: Vergleich mit Literaturwerten

beobachten, dass die Energien akzeptable Sigma-Abweichungen aufweisen, da hierbei alle Abweichungen kleiner als die übliche Signifikanzgrenze von 3σ sind. Insbesondere liegen die Energien der Alpha und der Gamma-Strahlung innerhalb der Fehlergrenzen. Dies deutet auf eine korrekte Versuchsdurchführung und bestätigt die Theorie. Bei der Untersuchung der Alpha-Strahlung mussten wir selber nicht viel am Versuchsaufbau verändern und wir mussten lediglich den Druck regulieren, was relativ genau realisierbar war. Deshalb ist die Abweichung hier vermutlich sehr klein. Der Fehler hätte auch kleiner abgeschätzt werden können. Wo ich persönlich einen grösseren Fehler erwartet habe ist bei dem Fit des linearen Anteils. Hier haben wir leider nur sehr wenige Messwerte aufgenommen, weshalb die Anpassung auf den ersten Blick etwas willkürlich wirkte. Überraschenderweise hat dies einen nicht zu grossen Einfluss auf die Ergebnisse.

Die etwas höhere Abweichung der Beta-Energie könnte dadurch gedeutet werden, dass hierbei Aluminium-Platten einfach nebeneinander angeordnet wurden, wobei nicht detailliert geachtet wurde, ob z.B. eine der Platten leicht verkippt ist usw. Um eine genauere Aussage über die Absorption treffen zu können müsste man entsprechend die absorbierenden Platten etwas genauer anordnen. Bei der Beta-Strahlung wurden weiterhin die kleinen Zählraten bei grossen Absorberdicken für den Fit ausgeblendet, wodurch die Anzahl an Messwerten sich etwas verkleinert hat. Es wäre angemessen gewesen, wenn wir, vor allem im senkrechten Teil der Absorptionskurve dünnere Aluminiumplättchen montiert haben könnten, da wir damit mehr Messwerte für diesen Teil hätten und der Fit erfolgreicher ausfallen würde.

Aber vor allem bei den Aktivitäten erhalte ich riesige Abweichungen, welche nicht alleine durch statistische Abweichungen gedeutet werden können und für welche ein systematischer Fehler angegeben werden muss. Auffällig ist dabei, dass die absolute Abweichung zwischen den Messwerten und den theoretisch

berechneten Werten für grösser gewählte Abstände kleiner wird. Entsprechend vermute ich, dass ein systematischer Fehler bei der Messung der Abstände vorgelegen hat, was zum Beispiel dadurch passiert sein könnte, dass wir bis zum falschen Strich am Zählrohr gemessen haben. Um die Genauigkeit zu erhöhen ist es entsprechend sinnvoll, die Aktivität für grössere Abstände aufzunehmen. Ein weiterer positiver Nebeneffekt dieses Verbesserungsvorschlages ist, dass dadurch die benötigten Korrekturterme kleiner werden wie bereits in der Auswertung diskutiert wurde (da die Korrekturfaktoren gegen 1 konvergieren).

5 Quellen und Python Code

- PAP 2.2 Anleitung der Universität Heidelberg

March 6, 2024

1 Auswertung zum Versuch 253

1.1 Yago Obispo Gerster | mn304

```
[1]: import matplotlib.pyplot as plt
      %matplotlib inline
      import numpy as np
      from numpy import exp, sqrt, log
      from scipy.optimize import curve_fit
      def literatur_Vergleich(name,mess,sig_mess,lit,sig_lit):
          print(name,": ")
          print("Absolute Abweichung: ",np.abs(mess-lit))
          print("Sigma: ",np.abs(mess-lit)/np.sqrt(sig_mess**2 + sig_lit**2))
```

```
[2]: #Nulleffektmessung
      n0 = 0.43 #1/s
```

1.1.1 Aufgabe 1: Beta-Strahlung

```
[3]: x = np.arange(0,16,1)*0.3 #Absorberdicke mm
      t = np.
      →array([30,30,30,30,30,30,30,30,30,120,120,120,120,120,120,120,5*60])#Messzeit s
      N = np.
      →array([1162,763,502,303,179,134,85,52,127,108,89,80,72,78,77,187])#Anzahl
      →gezählte Ereignisse

      sig_N = sqrt(N)
      n = N/t#Zählrate
      sig_n = sig_N/t
      n0b = n[-1]
      sig_n0b = sig_n[-1]

      z = n-n0b #Zählrate abzüglich Untergrund
      sig_z = sqrt((sig_N / t) ** 2 + (sig_n0b) ** 2)

      #Fit
      def expo(x, a, mu, b):
```



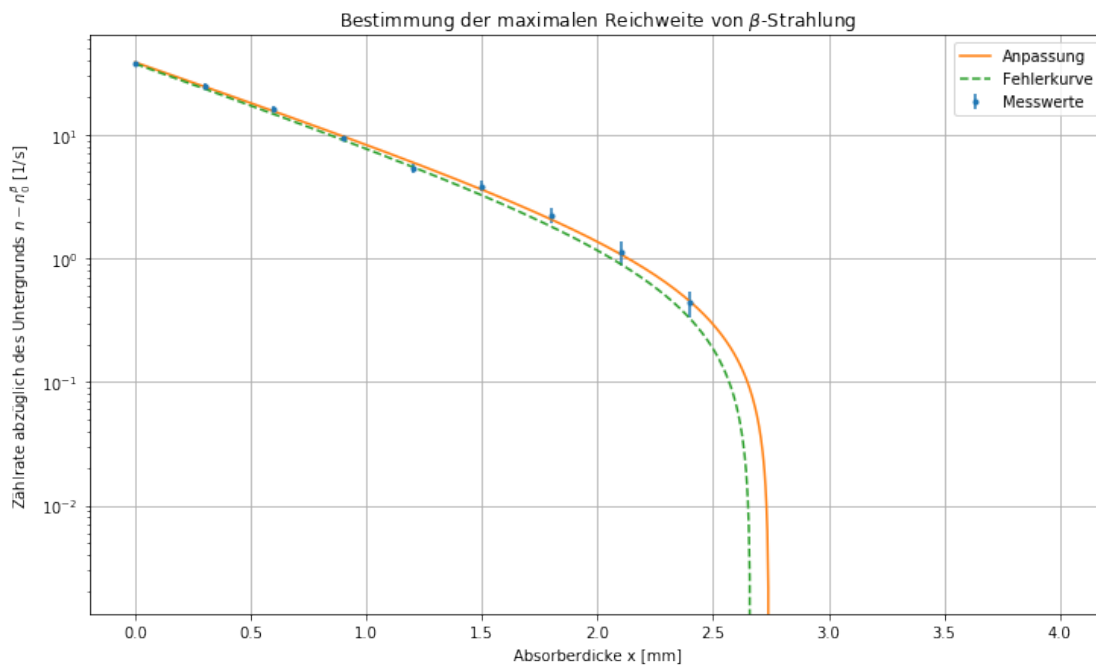
```

    return a * exp(- mu * x) + b
#Berücksichtige nicht zu kleine Werte
popt, pcov = curve_fit(expo, x[:-7], z[:-7], sigma = sig_z[:-7])
s = np.linspace(0, 4, 1000)
#Plot
plt.figure(figsize=(12,7))
plt.errorbar(x[:-7], z[:-7], yerr = sig_z[:-7], fmt = '.',label = 'Messwerte')
plt.plot(s,expo(s,*popt),label="Anpassung")
plt.grid()
plt.ylabel("Zählrate abzüglich des Untergrunds  $n - n_0 \backslash \backslash \beta$  [1/s]")
plt.xlabel("Absorberdicke x [mm]")
plt.title("Bestimmung der maximalen Reichweite von  $\beta$ -Strahlung")
plt.yscale("log")

#Fehler einzeichnen
z_f = z - sig_z
sig_z_f = np.sqrt(np.abs(z_f))
popt_f, pcov_f = curve_fit(expo, x[:-7], z_f[:-7],sigma = sig_z_f[:-7])
plt.plot(s, expo(s, *popt_f), label = 'Fehlerkurve', ls = '--')
plt.legend(loc = 'best')

plt.savefig("253/maxreichweite.png",format="png")

```



[4]: #Berechnung der maximalen Reichweite
#Fitparameter

```

a = popt[0]
mu = popt[1]
b = popt[2]
a_f = popt_f[0]
mu_f = popt_f[1]
b_f = popt_f[2]

xmax = -1 / mu * log(np.abs(b / a))
xmax_f = -1 / mu_f * log(np.abs(b_f / a_f))
sig_xmax = xmax - xmax_f

print("Max. Reichweite: ",xmax,"+/-",sig_xmax)

```

Max. Reichweite: 2.74088310958359 +/- 0.07964743546256603

```

[5]: #Bestimmung Flächendichte R
rho_Al = 2.7 #g/cm³
R = rho_Al*xmax/10
sig_R = rho_Al*sig_xmax/10
print("R ",R,"+/-",sig_R)

R_Fenster = 0.13
print("R+Rfenster",R+R_Fenster,"+/-",sig_R) #Damit kann Energie der
↪Beta-Strahlung abgelesen werden

```

R 0.7400384395875693 +/- 0.02150480757489283

R+Rfenster 0.8700384395875693 +/- 0.02150480757489283

1.1.2 Aufgabe 2: Absorption von Gamma Strahlung

```

[6]: x = np.arange(0,11,1)*0.5 #Absorberdicke cm
t = np.ones(11)*60 #Messzeit s
N = np.array([1357,850,680,527,410,279,224,194,121,111,100]) #Anzahl gezählte
↪Ereignisse

sig_N = sqrt(N)
n = N/t #Zählrate
sig_n = sig_N/t
n0b = n[-1]
sig_n0b = sig_n[-1]

z = n-n0b #Zählrate abzüglich Untergrund
sig_z = sqrt((sig_N / t) ** 2 + (sig_n0b) ** 2)

#Fit
def expo(x, a, mu, b):
    return a * exp(- mu * x) + b

```

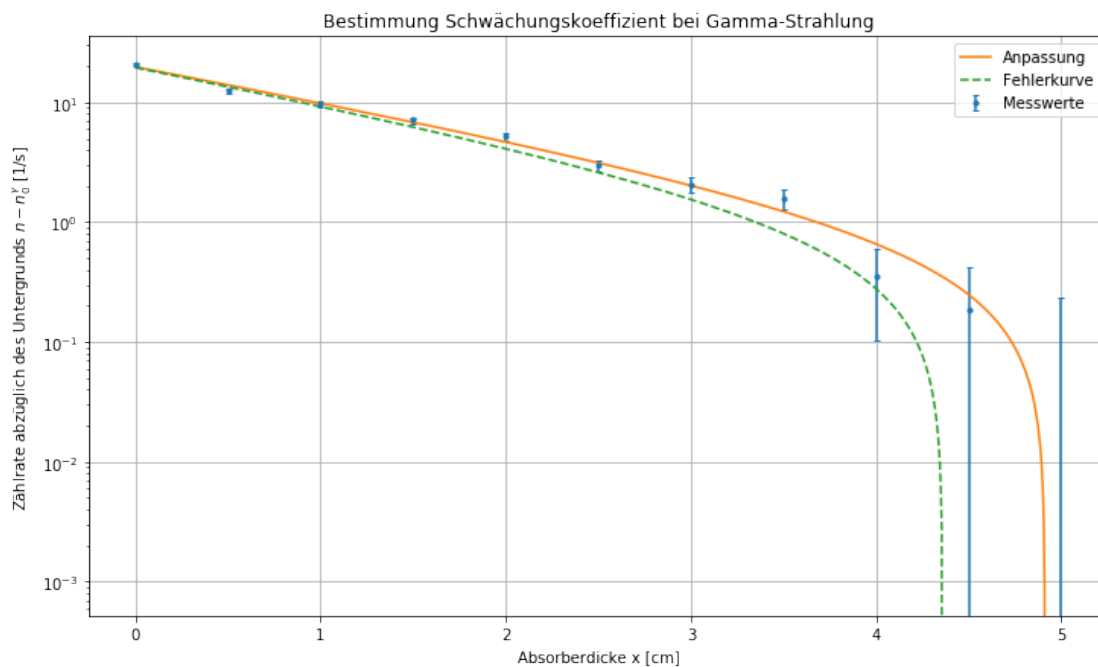
```

#Berücksichtige nicht zu kleine Werte
popt, pcov = curve_fit(expo, x, z, sigma = sig_z)
s = np.linspace(0, 5, 1000)
#Plot
plt.figure(figsize=(12,7))
plt.errorbar(x, z, yerr = sig_z, fmt = '.',label = 'Messwerte',capsize=2)
plt.plot(s,expo(s,*popt),label="Anpassung")
plt.grid()
plt.ylabel("Zählrate abzüglich des Untergrunds  $n - n_0 \backslash \gamma$  [1/s]")
plt.xlabel("Absorberdicke x [cm]")
plt.title("Bestimmung Schwächungskoeffizient bei Gamma-Strahlung")
plt.yscale("log")

#Fehler einzeichnen
z_f = z - sig_z
sig_z_f = np.sqrt(np.abs(z_f))
popt_f, pcov_f = curve_fit(expo, x, z_f,sigma = sig_z_f)
plt.plot(s, expo(s, *popt_f), label = 'Fehlerkurve', ls = '--')
plt.legend(loc = 'best')

plt.savefig("253/gamma.png",format="png")

```



[7]: *#Bestimmung Schwächungskoeffizient über Fitparameter*

```

mu = pop[1]
sig_mu = np.sqrt(pcov[1][1])

```

```

print("Schw.koeff.",mu,"+/-",sig_mu)
rho_Blei = 11.34 #g/cm3
print("Materialunabh. Schw.koeff ",mu/rho_Blei,"+/-",sig_mu/rho_Blei)
#Mit dieser Energie der Strahlung ablesen

```

```

Schw.koeff. 0.663367369671008 +/- 0.05343925919818997
Materialunabh. Schw.koeff 0.05849800438015943 +/- 0.004712456719417105

```

1.1.3 Aufgabe 4: Alpha-Strahlung

```

[8]: pa = np.array([20, 120, 220, 320, 420, 520, 620, 720])
    ta = np.ones(8) * 60
    Na = np.array([12846,12804,11974,7590,1622,915,727,244])
    sig_Na = sqrt(Na)
    na = Na / ta
    sig_na = sig_Na / ta

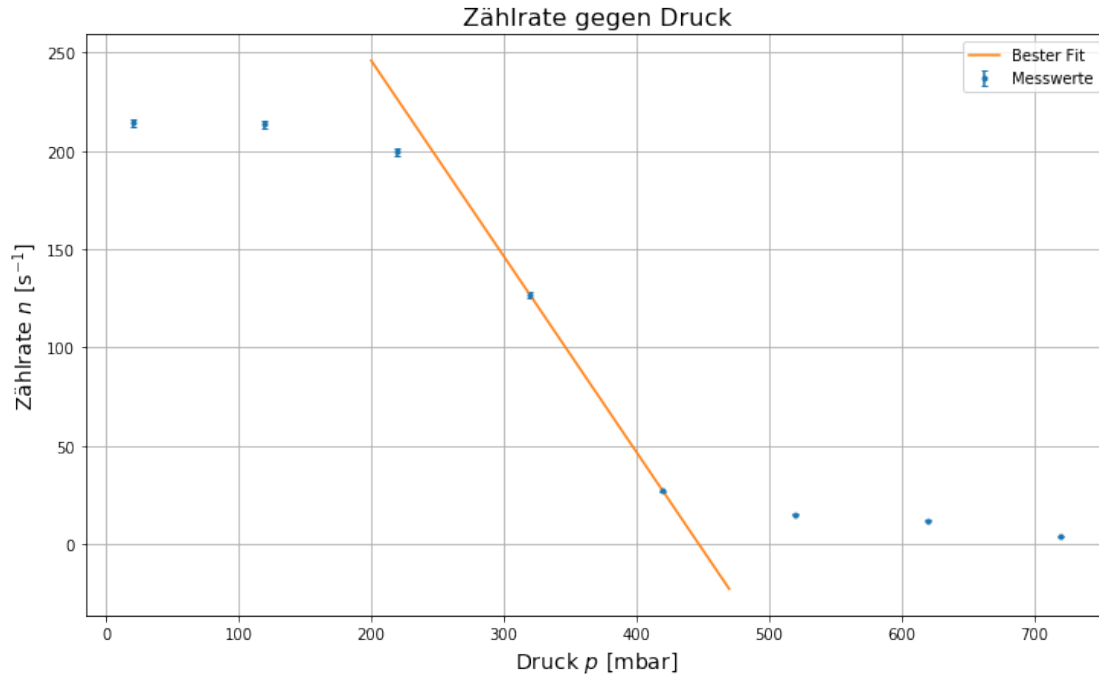
    # Fit
    def line(x, a, b):
        return a * x + b
    popt, pcov = curve_fit(line, pa[3:-3], na[3:-3], sigma = sig_na[3:-3])
    x = np.linspace(200,470,10)
    # Plot
    plt.figure(figsize = (12, 7))
    plt.grid()
    plt.errorbar(pa, na, yerr = sig_na, fmt = '.', capsize = 2, label = 'Messwerte')
    plt.plot(x, line(x, *popt), label = 'Bester Fit')
    plt.ylabel('Zählrate $n$ [s$^{-1}$]', size = 14)
    plt.xlabel('Druck $p$ [mbar]', size = 14)
    plt.title('Zählrate gegen Druck', size = 16)
    plt.legend(loc = 'best')
    plt.savefig('253/Alpha.png')

```

```

/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/scipy/optimize/minpack.py:834:
OptimizeWarning: Covariance of the parameters could not be estimated
category=OptimizeWarning)

```



```
[9]: a = popt[0]
sig_a = 0.02
b = popt[1]
sig_b = 100

p_half = (0.5 * pa[0] - b) / a
sig_p_half = sqrt((sig_b / a) ** 2 + ((0.5 * pa[0] - b) * sig_a / (a ** 2)) ** 2)
print('p_h = ', p_half, "+/-", sig_p_half)
```

p_h = 437.1246648793566 +/- 100.91966672931932

```
[10]: #Bestimmung der Strahlungsreichweite
s0 = 3.95
sig_s0 = 0.05
p0 = 1013 # mbar
s1 = p_half / p0 * s0
sig_s1 = sqrt((sig_p_half / p0 * s0) ** 2 + (p_half / p0 * sig_s0) ** 2)
print("s1", s1, "+/-", sig_s1)

# Korrektur
rho_G1 = 2.25
s2 = rho_G1 / 1.43
s3 = 0.68
s_ges = s1 + s2 + s3
```

```
sig_s_ges = sig_s1  
print("sges",s_ges,"+/-",sig_s_ges)
```

```
s1 1.7044841325503046 +/- 0.3941079967986892  
sges 3.9579107059768783 +/- 0.3941079967986892
```