

Versuch 253 - Absorption von α -, β - und γ - Strahlung

Felix Fleischle

1.3.2022

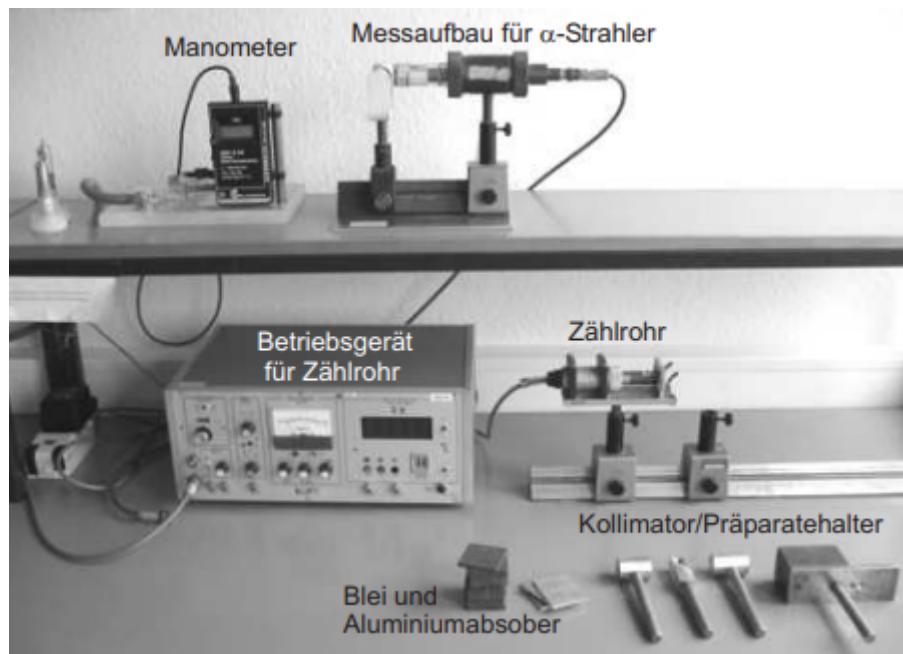


Abbildung 1: Bild des Versuchsaufbaus aus der Praktikumsanleitung

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
1.1 Grundlagen	3
1.1.1 Zerfallsarten	3
1.1.2 Absorption von Strahlung	4
1.1.3 Aktivität und Korrekturen	5
1.2 Durchführung	7
1.2.1 Inbetriebnahmne des Zählrohrs	7
1.2.2 Messung des Nulleffekts	7
1.2.3 Absorption von Betastrahlung in Aluminium	7
1.2.4 Absorption von Gammastrahlung in Blei	7
1.2.5 Bestimmung der Aktivität des Gammastrahlers	7
1.2.6 Absorptionsmessung und Energiebestimmung von Alphastrahlung	7
2 Messprotokoll	7
3 Auswertung	13
3.1 Absorption von Betastrahlung	13
3.2 Absorption von Gammastrahlung	16
3.3 Aktivität des Gammastahlers	18
3.4 Absorption von Alphastrahlung	19
4 Zusammenfassung und Diskussion	22

1 Einleitung

Das Ziel dieses Versuches ist es, die Absorption von β -Strahlen (^{90}Sr), von γ -Strahlen (^{60}Co) und von α -Strahlen (^{241}Am) zu messen. Aus den Absorptionskurven bestimmen wir die Maximalenergien der β -Strahlung bzw. die Energie der α - und γ -Strahlung. Außerdem schätzen wir die Aktivität des γ -Strahlers ab.

1.1 Grundlagen

1.1.1 Zerfallsarten

Radioaktive Atome gehen spontan unter Energieabgabe in einen energetisch günstigeren Zustand über. Dabei kann Energie in Form von Teilchen oder Strahlung abgegeben werden. Für Radioaktivität gilt das Zerfallsgesetz

$$n(t) = n_0 e^{-\lambda t} \quad (1.1)$$

mit der Zählrate n und der Zerfallskonstante

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad (1.2)$$

Es gibt drei unterschiedliche Zerfallsarten: α -, β -, und γ -Zerfall. Dabei laufen folgende Prozesse ab:

Im folgenden sei X ein Nuklid mit Massenzahl A, Ordnungs-/Protonenzahl Z und Neutronenzahl N.

Bei α -Strahlung wird ein zweifach positiv geladener Heliumkern abgegeben:



Die dabei emittierte Strahlung ist monoenergetisch und Stoffabhängig aufgrund der diskreten Energiezustände im Kern. Bei dem Prozess erhält der Restkern eine Rückstoßenergie, welche ausreichend ist, um auf die umgebenden Moleküle ionisierend zu wirken.

Beim β -Zerfall gibt es β^+ - und β^- -Zerfall:



Dabei entsteht neben dem Elektron bzw. Positron noch ein Antineutrino bzw. Neutrino, womit sich die freiwerdende Energie auf drei Teilchen aufteilt. Dadurch ist das Energiespektrum beim β -Zerfall kontinuierlich. Das Elektron kann dabei jede Energie von 0 bis zur Stoffabhängigen

Maximalenergie E_{max}^β annehmen. Der Restkern erfährt hier auch einen Rückstoß, welcher aber deutlich geringer ist als beim α -Zerfall aufgrund der kleineren Masse des Elektrons.

Bei der γ -Strahlung handelt es sich um elektromagnetische Strahlung. Sie entsteht als Nebenprodukt beim α - und β -Zerfall, wenn der zerfallende Kern in einen angeregten Zustand des Produktkerns übergeht. Beim Übergang in den dann energetisch niedrigeren Zustand wird ein Photon emittiert, mit einem diskreten, stoffabhängigen Energiewert.

1.1.2 Absorption von Strahlung

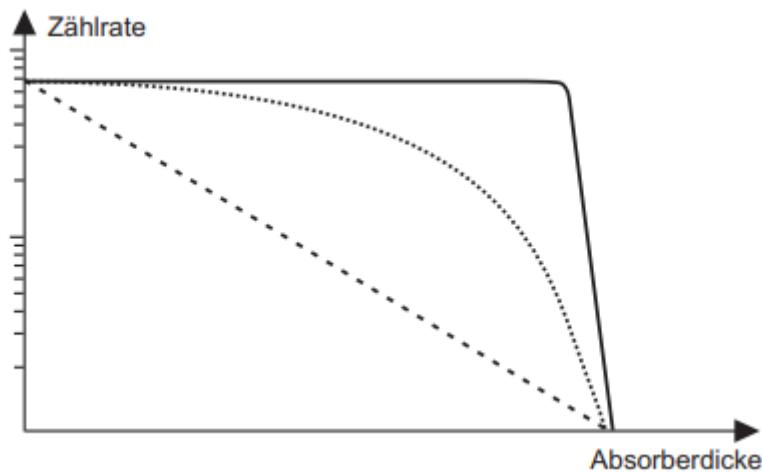


Abbildung 2: Absorptionskurve für α - (durchgezogen), β - (gepunktet), und γ -Strahlung

Geladene Teilchen, und damit α - und β -Strahlung, werden in Materie hauptsächlich durch Stöße und Wechselwirkung mit den Elektronen der Atomhüllen gebremst. Dabei geben sie ihre Energie in kleinen Portionen nahezu kontinuierlich ab. Der Energieverlust ist antiproportional zum Quadrat der Geschwindigkeit.

Die Reichweite von α -Strahlung in Materie ist proportional zur Energie der Teilchen. Wenn man die Zählrate hinter einem Absorber misst, bei Variation der Absorberdicke, bleibt dabei die Zählrate relativ konstant, bis zum Erreichen einer kritischen Dicke, wo die Zählrate rasch auf Null abfällt.

Die Elektronen und Positronen des β -Zerfalls haben eine deutlich größere Geschwindigkeit, und damit auch eine größere Reichweite. Die Elektronen werden aufgrund ihrer kleinen Masse im Absorber vielfach abgelenkt, weshalb die wahre Bahnlänge der Teilchen stark variiert. Diese Eigenschaft, zusammen mit dem kontinuierlichen Energiespektrum, erschwert eine genaue Auswertung der Absorptionskurve von β -Zerfall.

Die Absorption von γ -Strahlung wird durch das Lambert-Beer-Gesetz beschrieben:

$$n = n_0 e^{-\mu x} \quad (1.6)$$

mit dem Schwächungskoeffizienten μ . Die wichtigsten Schwächungsmechanismen sind dabei der Photoeffekt, wobei das γ -Photon seine Energie an ein Elektron abgibt und dieses aus der Hülle schlägt, wobei durch das Nachrücken äußerer Elektronen charakteristische Strahlung entsteht, die Comptonstreuung, wobei ein γ -Photon inelastisch an einem Elektron gestreut wird und Energie verliert, sowie die Paarbildung, bei der γ -Photonen von $E > 1,022\text{MeV}$ in ein Elektron und ein Positron zerfällt, wobei die Energie auf das Elektron-Positron-Paar aufgeteilt wird, und der Impuls auf das Paar sowie auf einen beteiligten Kern.

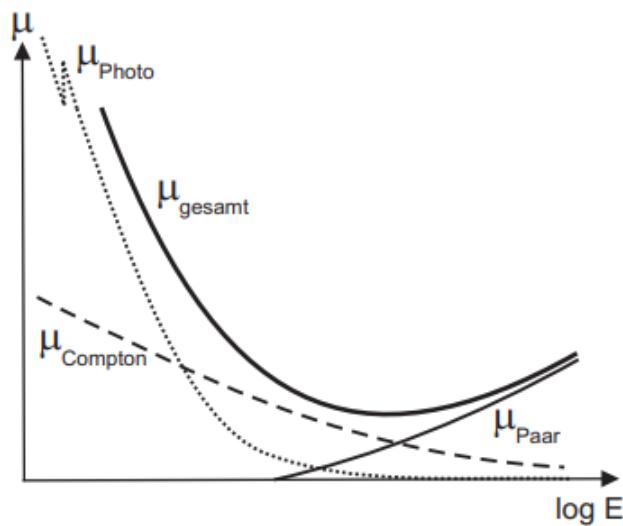


Abbildung 3: Schwächungskoeffizient in Abhängigkeit der Energie

Für kleine Energien dominiert der Anteil des Photoeffekts zum Schwächungskoeffizienten, während in der Mitte die Comptonstreuung, und für hohe Energien die Paarbildung dominiert.

1.1.3 Aktivität und Korrekturen

Wir wollen in einem der Versuchsteile die Aktivität des γ -Strahlers bestimmen. Die Aktivität A beschreibt die Zerfälle pro Sekunde eines radioaktiven Präparats, gemessen über eine volle Kugeloberfläche. Wir messen die Zerfälle jedoch nur in einem kleinen Teil der Kugeloberfläche, dem Raumwinkel Ω . Für diesen gilt in erster Näherung

$$\Omega = \frac{\pi r^2}{d^2} \quad (1.7)$$

mit dem Radius r des Zählrohrs, sowie dem Abstand d zwischen Präparat und Zählrohr. Die Aktivität berechnet sich dann aus

$$A = \frac{4\pi n}{\epsilon\Omega} = \frac{4nd^2}{\epsilon r^2} \quad (1.8)$$

mit der Zählrate n und der Ansprechwahrscheinlichkeit $\epsilon = 0,04$ für γ -Photonen in unserem Energiebereich.

Man kann nun noch zwei Korrekturen vornehmen, um das Ergebnis zu verbessern. Zuerst müssen wir beachten, dass bei der oberen Berechnung des Raumwinkels davon ausgegangen wird, dass direkt am Eingang des Zählrohrs gemessen wird. Das Zählrohr hat allerdings auch eine Länge von $l = 4\text{cm}$, sodass ein Teil der im betrachteten Raumwinkel emittierten Strahlung nicht detektiert wird. Damit wird die Aktivität unterschätzt. Wenn man im Gegenteil die volle Länge $d + l$ in der Berechnung des Raumwinkels nutzt, wird ein Teil der Strahlung detektiert, der sich nicht im Raumwinkel Ω befindet:

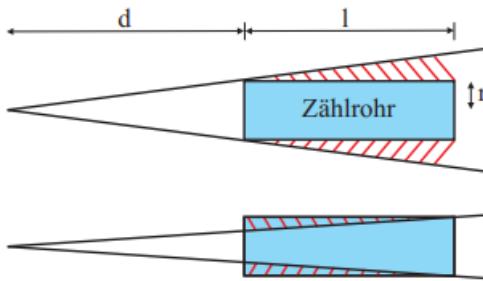


Abbildung 4: Extremfälle der Raumwinkel

Wir nutzen also einen Mittelwert für den Korrekturfaktor von

$$A_\Omega = \frac{4n(d + \frac{l}{2})^2}{\epsilon r^2} = k_1 A \quad (1.9)$$

Als letztes können wir noch eine Absorptionskorrektur durchführen. Diese berücksichtigt die Absorption der Präparatkapsel:

$$A_{ab} = A e^{-\mu x} = k_2 A \quad (1.10)$$

mit der Dicke $x = 1,4\text{mm}$ der Präparatkapsel, sowie dem Schwächungskoeffizienten

$$\mu = \frac{\mu_1}{\rho_{Pb}} \rho_{ab} \quad (1.11)$$

mit dem Schwächungskoeffizient und der Dichte von Blei.

1.2 Durchführung

1.2.1 Inbetriebnahmne des Zählrohrs

Wir nehmen zunächst das Zählrohr in Betrieb. Dabei notieren wir die Betriebsspannung, welche im Bereich zwischen 500 und 550 Volt liegen sollte, sowie den Radius r des Zählrohrs.

1.2.2 Messung des Nulleffekts

Danach messen wir 5 Minuten lang den Nulleffekt und notieren die gemessene Zahl der Zerfälle.

1.2.3 Absorption von Betastrahlung in Aluminium

Wir notieren zuerst die Kennnummer unseres ^{90}Sr -Präparats. Anschließend montieren wir dem Aluminiumkollimator in einem Abstand von $d = 6\text{cm}$ in den Strahlengang des Zählrohrs und stecken das Präparat hinein.

Wir führen Messungen der Zerfälle für unterschiedliche Absorberdicken, indem wir von 0mm in Schritten von 0,3mm bis der Nulleffekt erreicht ist Aluminiumplatten vor das Zählrohr stecken. Für die Messzeit wählen wir 30 Sekunden, bzw. bei kleinen Zählraten 2 Minuten. Nach dem Erreichen des Nulleffekts führen wir noch eine Messung für 5 Minuten mit zusätzlich 1mm Aluminium durch.

1.2.4 Absorption von Gammastrahlung in Blei

Wir notieren zunächst wieder die Kennnummer unseres Präparats. Dann montieren wir den Bleikollimator im Abstand von $d = 15\text{cm}$ im Strahlengang des Zählrohrs und schrauben das ^{60}Co -Präparat ein. Wir messen wieder die Zerfälle von 0cm bis 5cm Blei in 0,5cm-Schritten bei einer Messzeit von einer Minute.

1.2.5 Bestimmung der Aktivität des Gammastrahlers

Wir schrauben das ^{60}Co -Präparat in den dafür vorgesehenen Bleizylinder und messen die Zerfälle bei einer Messzeit von 1 Minute jeweils in Abständen von 5cm, 10cm und 20cm.

1.2.6 Absorptionsmessung und Energiebestimmung von Alphastrahlung

Wir nutzen den Aufbau der α -Quelle im evakuierbaren Glasrohr mit Zählrohr. Wir notieren die Flächendichte des Zählrohrfensters aus Glimmer.

Wir evakuieren das Glasrohr auf ca. 20mbar, und messen in 100mbar Schritten die Zerfälle mit einer Messzeit von 1 Minute. Danach führen wir noch Zwischenmessungen durch, im Bereich wo die Zählrate stark schwankt.

2 Messprotokoll

Versuch 253 Absorption - Messprotokoll

~~20220204~~ 1.3.2022 Folix Fleischle Daniel Schub
André Meißner

Messutensilien

- Geiger-Müller Zählrohr
- Zählgerät
- Evakuierbarer Glaskylinder mit eingebautem Zählrohr und ^{241}Am -Präparat
- β -Präparat ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$)
- γ -Präparat (^{60}Co)
- diverse Präparatehalter und Kollimatoren
- Aluminium- und Bleiabschirme
- Vakuumpumpe

Durchführung

1. Inbetriebnahme des Zählrohrs

Betriebsspannung:

$$U = 540 \text{ V}$$

Radius des Zählrohrs:

$$r = 7 \text{ mm}$$

2. Messung des Nullstolchs

Wir messen 5 Minuten lang den Nullstolch ohne Präparat.

$$t = 300\text{s}$$

$$n_0 = 90$$

$$n = 0,3 \frac{1}{s}$$

3. Absorption von β -Strahlung in Aluminium

Wir montieren das Aluminiumkathode im Abstand d in den Strahlengang des Zählrohrs und stecken das Präparat in die Öffnung.

Wir erhöhen in 0,3mm Schritten die Dicke der Aluminium-Abschirmung und messen die Zerfälle bis zum Erreichen des Nullstolchs, sowie danach mit zusätzlich 0 mm Aluminium.

Tabelle 1: Zerfallrate als Fkt der Dicke des Abschlusses

Dicke d [mm]	Meßzeit [s]	Freizeit	Kennnummer des Präparats: 188 GJ 527
0	30	402	
0,3	30	250	$d = 180 \pm 0,3 \text{ cm}$
0,6	30	189	
0,9	30	124	
1,2	30	86	
1,5	30	45	
1,8	120	139	

Dicke [mm]	Messzeit [s]	Ereignisse
2,1	120	107
2,4	120	77
2,7	120	67
3,0	120	56
3,3	120	42
3,6	120	48
3,9	120	59
4,2	120	47
4,5	120	55
5,5	120/300	113

4. Absorption von γ -Strahlung in Blei

Wir montieren Bleikollimator und ^{60}Co -Präparat im Strahlengang bei Abstand d.

Wir messen die Ereignisse bei Blattdicke in Schritten

vom 0,5 cm bis 5 cm bei Messzeit von 1 min.

Tabelle 2: Zählrate ab Fkt der Dicke

$$\text{Dicke [cm]} \quad \text{Ereignisse} \quad d = (15,0 \pm 0,3) \text{ cm}$$

0	1227	Kennnummer: SN 372
0,5	620	$t = 60_s$
1,0	341	
1,5	228	
2,0	132	
2,5	84	
3,0	87	
3,5	165	
4,0	286	
4,5	505	
5,0	800	

5. Bestimmung der Aktivität des γ -Strahlers

Wir schrauben das ^{60}Co - Präparat in den dafür vorgesehenen Bleizylinder und justieren es im Abstand d vom Zählrohr.

Wir messen mit einer Messzeit von 1 min bei
 $d = 5\text{cm}, 10\text{cm}, 20\text{cm}$

Tabelle 3: Zählerate als Fkt. des Abstandes

Abstand d [cm]	Ereignisse
$5,0 \pm 0,3$	9715
$10,0 \pm 0,3$	3314
$20,0 \pm 0,3$	926

6. Abschattierung und Ergebnisbereinigung der α -Strahlung

Wir evakuieren das Glasrohr auf 20 mbar und messen in 10 mbar schritten die Ereignisse bei einer Messzeit von 1 min. Im Bereich wo die Rate stark schwankt führen wir zusätzliche Messungen durch.

Tabelle 4: Zählerate als Fkt. des Drucks

Druck [mbar]	Ereignisse	$d = 4,2\text{cm}$	Flächenlänge des Zählrohrlentals: $2,25\text{ m}^2/\text{cm}^2$
22 ± 3	13292		
$141,0 \pm 1,0$	13076		
$235,0 \pm 1,0$	13240		
$343,0 \pm 1,0$	12284		
$452,0 \pm 1,0$	3723		
$554,0 \pm 1,0$	342		
$625,0 \pm 1,0$	315		

Douch Embry | Brejnske

756 ± 3	278
854 ± 3	302
959 ± 3	359
- - -	- -
388 ± 3	9007
432,0 ± 1,0	5509
500,0 ± 1,0	762
465,0 ± 1,0	2294

13.2²
7. X. Xmas

3 Auswertung

Die Rechnungen zur Auswertung wurden in Python durchgeführt. Der Code ist am Ende des Dokuments zu finden.

3.1 Absorption von Betastrahlung

Wir beginnen mit der Auswertung unserer Daten zur Messreihe der Zerfälle in Abhängigkeit der Absorberdicke bei β -Strahlung. Dazu berechnen wir zunächst aus den Zerfällen und der Messzeit die Zählrate n , sowie aus unserer zusätzlichen Untergrundmessung die Untergrundzählrate n_0^β . Der Fehler von N entspricht dabei $\Delta N = \sqrt{N}$.

Messzeit t [s]	Zerfälle N	Zählrate n [1/s]	Untergrund n_0^β [1/s]	$n - n_0^\beta$ [1/s]
30	402	$13,4 \pm 0,7$		$13,0 \pm 0,7$
30	250	$8,3 \pm 0,5$		$8,0 \pm 0,5$
30	189	$6,3 \pm 0,5$		$5,9 \pm 0,5$
30	124	$4,1 \pm 0,4$		$3,8 \pm 0,4$
30	86	$2,9 \pm 0,3$		$2,5 \pm 0,3$
30	45	$1,50 \pm 0,22$		$1,12 \pm 0,23$
120	139	$1,16 \pm 0,10$		$0,78 \pm 0,10$
120	107	$0,89 \pm 0,09$	$0,38 \pm 0,04$	$0,52 \pm 0,09$
120	77	$0,64 \pm 0,07$		$0,27 \pm 0,08$
120	67	$0,56 \pm 0,07$		$0,18 \pm 0,08$
120	56	$0,47 \pm 0,06$		$0,09 \pm 0,08$
120	42	$0,35 \pm 0,05$		$-0,03 \pm 0,06$
120	48	$0,40 \pm 0,06$		$0,02 \pm 0,07$
120	53	$0,44 \pm 0,06$		$0,07 \pm 0,07$
120	47	$0,39 \pm 0,06$		$0,02 \pm 0,07$
120	55	$0,46 \pm 0,06$		$0,08 \pm 0,07$

Tabelle 1: Zählraten bei β -Zerfall sowie Untergrund

Wir tragen nun diese Werte gegen die Absorberdicke auf, lassen dabei aber die letzten 4 Messwerte weg, da wir hier offensichtlich schon den Hintergrund erreicht hatten, weshalb diese Messwerte irrelevant sind. Wir erhalten folgende Diagramme, einmal mit normaler und einmal mit logarithmischer y-Achse:

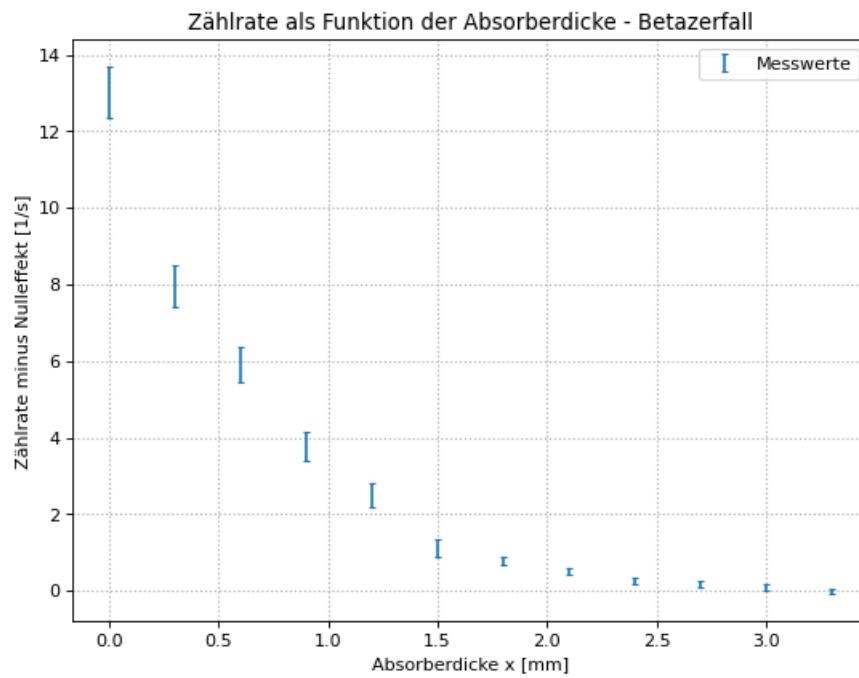


Abbildung 5: Zählrate als Funktion der Absorberdicke

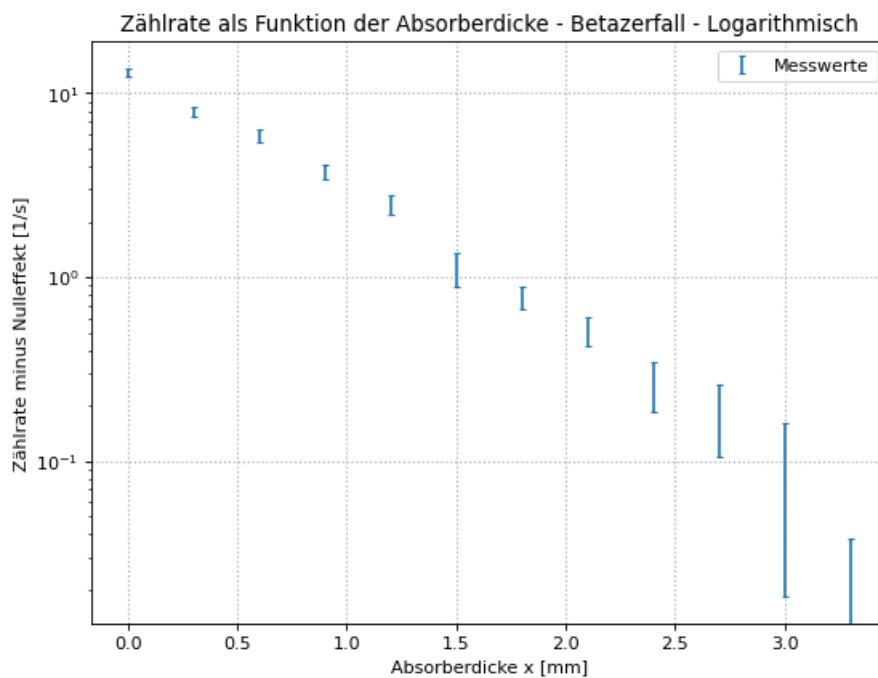


Abbildung 6: Zählrate als Funktion der Absorberdicke - logarithmisch

Wir machen nun einen fit mit einer Exponentialfunktion

$$f(x) = Ae^{-\mu x} + b \quad (3.1)$$

einmal mit unseren Messwerten für die Fitgerade, sowie einmal mit $n - \Delta n$ für die Fehlergerade. Wir erhalten folgendes Diagramm:

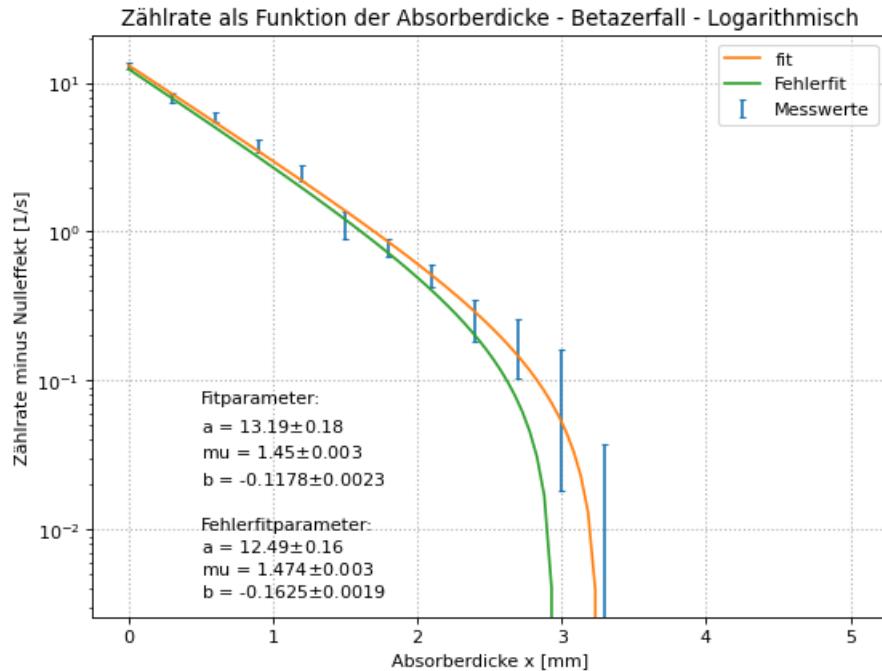


Abbildung 7: Zählrate als Funktion der Absorberdicke - logarithmisch mit fit

Wir lesen die Absorberdicke ab, bei der die Kurve senkrecht verläuft, und erhalten

$$x_{max} = (3,2 \pm 0,3) \text{ mm} \quad (3.2)$$

Wir wollen nun die Flächendichte R^β bestimmen. Dazu benötigen wir die Dichte von Aluminium $\rho_{Al} = 2,6989 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, womit wir

$$R^\beta = \rho_{Al} x_{max} \pm \rho_{Al} \Delta x_{max} = (0,87 \pm 0,08) \frac{\text{g}}{\text{cm}^2} \quad (3.3)$$

erhalten. Wir müssen noch die Flächendichte $R_{ES}^\beta = 0,130 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2}$ der Präparatkapsel hinzufügen, womit wir auf eine Gesamtflächendichte von

$$R_{ges}^\beta = R^\beta + R_{ES}^\beta \pm \Delta R^\beta = (1,00 \pm 0,08) \frac{\text{g}}{\text{cm}^2} \quad (3.4)$$

kommen. Wir lesen aus dem Diagramm 8 der Praktikumsanleitung die entsprechende Energie ab und erhalten

$$E_{max}^\beta = (2, 15 \pm 0, 10) MeV \quad (3.5)$$

mit dem Literaturwert von $E_{max,lit}^\beta = 2,274 MeV$ entspricht dies einer σ -Abweichung von

$$\sigma_{E^\beta} = \frac{E_{max,lit}^\beta - E_{max}^\beta}{\Delta E_{max}^\beta} = 1,24 \quad (3.6)$$

Die Abweichung ist also nicht signifikant.

3.2 Absorption von Gammastrahlung

Wir bestimmen aus unseren Messwerten erneut die Zählrate. Für den Untergrund erhalten wir

$$n_0 = \frac{90 \pm 9,49}{300s} = (0,30 \pm 0,03) \frac{1}{s} \quad (3.7)$$

Wir tragen die Zählrate minus Untergrund gegen die Absorberdicke auf:

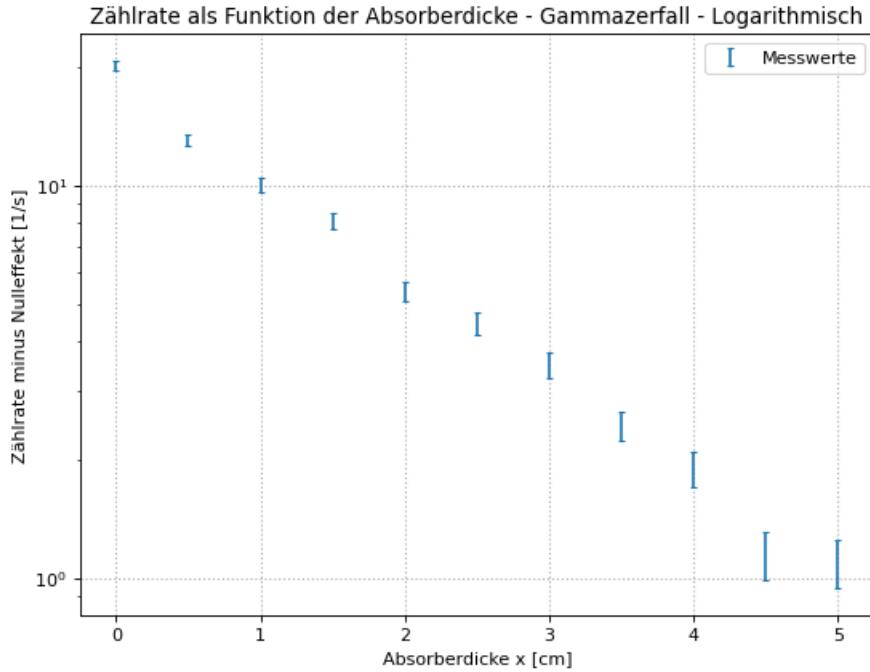


Abbildung 8: Zählrate als Funktion der Absorberdicke bei γ -Strahlung

Wir führen erneut einen fit mit einer Exponentialfunktion durch. Wir erhalten folgendes Diagramm:

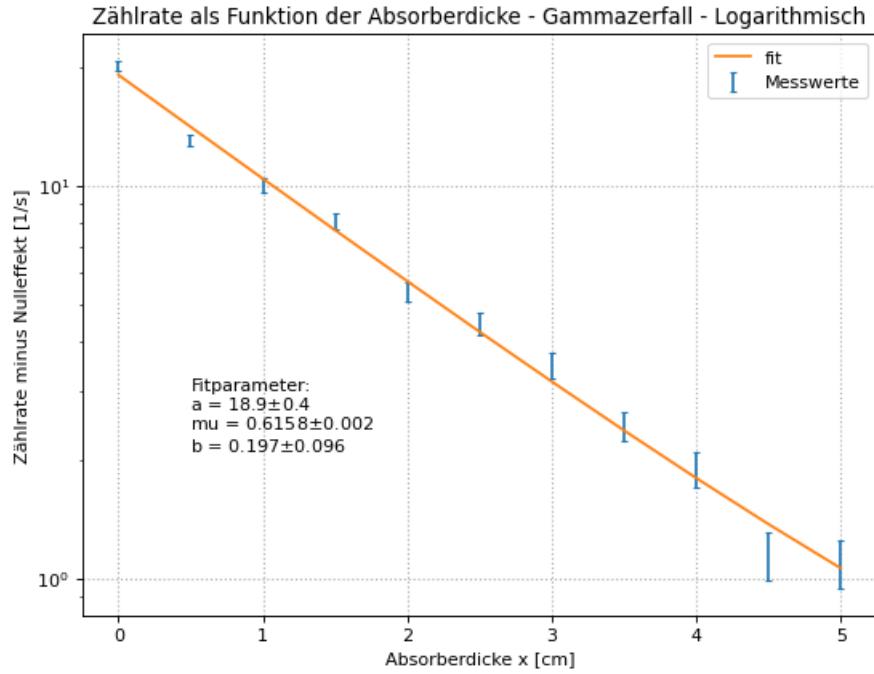


Abbildung 9: Zählrate als Funktion der Absorberdicke bei γ -Strahlung mit fit

Als Steigung der Gerade erhalten wir für den Schwächungskoeffizienten

$$\mu = (0,62 \pm 0,04) \frac{1}{cm} \quad (3.8)$$

Wir berechnen hieraus mit der Dichte von Blei $11,342 \frac{g}{cm^3}$ den materialunabhängigen Massenschwächungskoeffizienten

$$\mu_\rho = \frac{\mu}{\rho_{Pb}} \pm \frac{\Delta\mu}{\rho_{Pb}} = (0,054 \pm 0,004) \frac{cm^2}{g} \quad (3.9)$$

Mithilfe von Diagramm 9 aus der Praktikumsanleitung bestimmen wir damit die Maximalenergie zu

$$E_{max}^\gamma = (1,42 \pm 0,05) MeV \quad (3.10)$$

mit dem Literaturwert von $E_{max,lit}^\gamma = 1,333 MeV$ erhalten wir eine Abweichung von

$$\sigma_{E^\gamma} = 1,74 \quad (3.11)$$

was auch nicht signifikant ist.

3.3 Aktivität des Gammastahlers

Aus unserer Messreihe zur Aktivität, wo wir die Zerfälle für drei Abstände gemessen haben, bestimmen wir nun die Aktivität wie in der Einleitung behandelt. Dabei erhalten wir mit

$$A = \frac{4nd^2}{2\epsilon r^2} \pm \sqrt{\left(\frac{4\Delta nd^2}{2\epsilon r^2}\right)^2 + \left(\frac{4n2d\Delta d}{2\epsilon r^2}\right)^2} \quad (3.12)$$

zuerst die grobe Aktivität. Der Faktor $\frac{1}{2}$ kommt hier dadurch zustande, dass pro Zerfall zwei Gamma-Photonen entstehen, sodass wir das doppelte der eigentlichen Zerfälle messen. Dann berechnen wir die raumwinkelkorrigierte Aktivität A_{rw} mit

$$A_\Omega = \frac{4n(d + \frac{l}{2})^2}{2\epsilon r^2} \pm \sqrt{\left(\frac{4\Delta n(d + \frac{l}{2})^2}{2\epsilon r^2}\right)^2 + \left(\frac{4n2(d + \frac{l}{2})\Delta d}{2\epsilon r^2}\right)^2} = k_1 A \quad (3.13)$$

und schließlich die finale Aktivität A_{korr} mit

$$A_{ab} = Ae^{-\mu x} \pm x\Delta\mu e^{-\mu x} = k_2 A \quad (3.14)$$

und

$$\mu = \frac{\mu_1}{\rho_{Pb}} \rho_{ab} \pm \frac{\Delta\mu_1}{\rho_{Pb}} \rho_{ab} \quad (3.15)$$

mit dem Ergebnis aus dem vorherigen Versuchsteil. Wir erhalten insgesamt, in einer Tabelle, folgende Ergebnisse:

d [cm]	Zählrate n [1/s]	A [kBq]	A_{rw} [kBq]	k_1	A_{korr} [kBq]	k_2
$5,0 \pm 0,3$	$162,0 \pm 1,6$	410 ± 50	810 ± 70	$1,96 \pm 0,29$	860 ± 70	
$10,0 \pm 0,3$	$55,2 \pm 0,9$	560 ± 40	810 ± 40	$1,44 \pm 0,11$	860 ± 40	
$20,0 \pm 0,3$	$15,4 \pm 0,5$	630 ± 28	762 ± 29	$1,21 \pm 0,07$	810 ± 30	$1,062 \pm 0,005$

Tabelle 2: Aktivität des γ -Strahlers

Wir können sehen, dass die ersten Aktivitäten A ohne Korrektur stark voneinander abweichen. Der Grund dafür ist die Überschätzung des Raumwinkels wie in der Einleitung erwähnt.

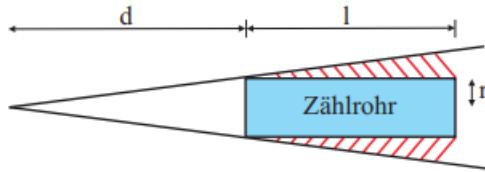


Abbildung 10: Überschätzung des Raumwinkels für verschiedene Abstände

Wenn wir den Abstand d erhöhen, wird der Kegel zunehmend steiler, und damit der Raumwinkel

weniger überschätzt. Entsprechend können wir auch beim Korrekturfaktor k_1 sehen, dass für den größten Abstand die Korrektur am geringsten ist. Für größere Abstände wird sich der Korrekturfaktor demnach 1 annähern.

Wir sehen nun auch nach der Raumwinkelkorrektur, dass die drei Aktivitäten untereinander innerhalb der Fehlergrenzen übereinstimmen.

Wir berechnen nun aus den Herstellerangaben zu unserem Präparat die theoretische Aktivität des Präparats. Dazu nutzen wir die Angaben, dass am 2.3.2010 die Aktivität 3700 kBq betrug, und am 1.1.2019 1160 kBq. Wir nutzen außerdem die Halbwertszeit von Cobalt-60 $T_{1/2} = 5,2713$ Jahre. Wir berechnen mit dem Zerfallsgesetz die aktuelle Aktivität:

$$A_{akt} = A_0 e^{-\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \Delta t} \quad (3.16)$$

Wir nutzen dabei beide Angaben, und berechnen aus beiden Aktivitäten den Mittelwert und Standardabweichung. Wir erhalten so

$$A_{akt} = (764,4 \pm 0,3) kBq \quad (3.17)$$

Wir berechnen nun die σ -Abweichungen vom theoretischen Wert, sowohl vor als nach den Korrekturen:

A_{akt} [kBq]	A [kBq]	σ_A	A_{korr} [kBq]	$\sigma_{A_{korr}}$
764,4 ± 0,3	410 ± 50	7,06	860 ± 70	1,29
	560 ± 40	5,70	860 ± 40	2,19
	630 ± 28	4,80	810 ± 30	1,43

Tabelle 3: Abweichungen Aktivität

wie wir sehen können sind die Abweichungen vor der Korrektur signifikant, was natürlich aufgrund der Vernachlässigung der Zählrohrlänge und der Absorption zu erwarten war. Nach der Korrektur sind alle drei Werte wie erwartet ähnlich, und die Abweichungen sind nicht signifikant.

3.4 Absorption von Alphastrahlung

Wir berechnen nun erneut die Zählrate aus unseren gezählten Ereignissen und tragen diese gegen den Druck im Glasrohr in einem Diagramm auf:

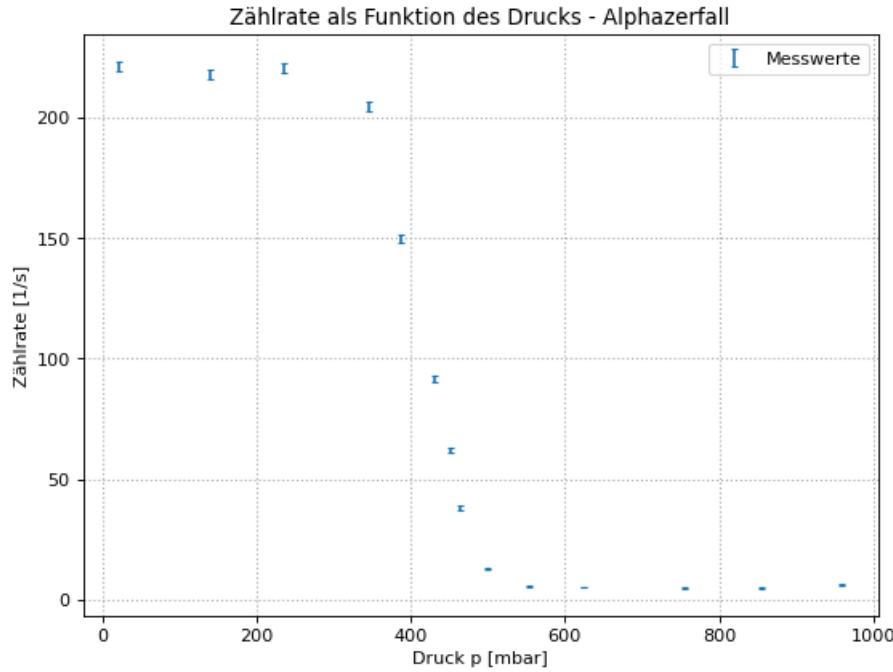


Abbildung 11: Zählrate als Funktion des Drucks

Wie erwartet bleibt die Zählrate relativ konstant, bis sie schlagartig abfällt, bis nur noch der Untergrund gemessen wird. Wir lesen den Druck ab, bei dem die Zählrate halbiert wurde, und erhalten

$$p_{1/2} = (415 \pm 5) \text{ mbar} \quad (3.18)$$

Mit dem Normaldruck $p_0 = 1013 \text{ mbar}$ und dem Abstand Präparat-Zählrohr $s_0 = (3,95 \pm 0,05) \text{ cm}$ berechnen wir die Reichweite der Alphastrahlung:

$$s_1 = \frac{p_{1/2}s_0}{p_0} \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta p_{1/2}s_0}{p_0}\right)^2 + \left(\frac{p_{1/2}\Delta s_0}{p_0}\right)^2} = (1,618 \pm 0,028) \text{ cm} \quad (3.19)$$

Außerdem erhöht sich die Reichweite um zwei Korrektursummanden. Der erste kann aus der Flächendichte des Zählrohrfensters $\rho_{gl} = 2,25 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$ berechnet werden:

$$s_2 = \frac{\rho_{Gl} \cdot 1 \text{ cm}}{1,43 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}} = 1,5734 \quad (3.20)$$

Der letzte Korrektursummand berücksichtigt die Schutzschicht der Americium-Quelle und beträgt laut Praktikumsskript

$$s_3 = 0,68 \text{ cm} \quad (3.21)$$

Damit ergibt sich die Gesamtreichweite zu

$$s = s_1 + s_2 + s_3 \pm \Delta s_1 = (3,872 \pm 0,028)cm \quad (3.22)$$

Wir lesen die Energie aus Diagramm 8 der Praktikumsanleitung ab, und erhalten

$$E^\alpha = (5,40 \pm 0,20)MeV \quad (3.23)$$

Mit dem Literaturwert von $E_{lit}^\alpha = 5,48MeV$ ergibt das eine Abweichung von

$$\sigma_{E^\alpha} = 0,40 \quad (3.24)$$

Die Abweichung ist also nicht signifikant.

4 Zusammenfassung und Diskussion

Die Ziele dieses Versuches waren es, die Absorption von β -Strahlen (^{90}Sr), von γ -Strahlen (^{60}Co) und von α -Strahlen (^{241}Am) zu messen, und aus den Absorptionskurven die Maximalenergien der β -Strahlung bzw. die Energie der α - und γ -Strahlung zu bestimmen. Außerdem haben wir die Aktivität des γ -Strahlers abgeschätzt.

Zu Beginn des Versuches haben wir die Absorption von β -Strahlung gemessen. Dazu haben wir unser ^{90}Sr -Präparat in den Strahlengang des Zählrohrs geschraubt, und die Zerfälle pro Messintervall gemessen, bei unterschiedlichen vielen Aluminiumplatten vor dem Zählrohr. Wir haben zunächst die Zählrate berechnet, sowie den Untergrund. Wir haben dann den Untergrund von der Zählrate abgezogen, und gegen die Absorberdicke logarithmisch aufgetragen. Durch den fit mit einer Exponentialfunktion haben wir den Punkt bestimmt, an dem die Kurve praktisch senkrecht verläuft. Wir haben

$$x_{max} = (3,2 \pm 0,3) \text{ mm} \quad (4.1)$$

aus dem Diagramm bestimmt. Daraus haben wir die Flächendichte R^β bestimmt, und zusammen mit der Flächendichte der Präparatkapsel die Gesamtflächendichte von

$$R_{ges}^\beta = (1,00 \pm 0,08) \frac{\text{g}}{\text{cm}^2} \quad (4.2)$$

erhalten. Nach dem Diagramm aus der Praktikumsanleitung entspricht dies einer Energie von

$$E_{max}^\beta = (2,15 \pm 0,10) \text{ MeV} \quad (4.3)$$

Mit dem Literaturwert von $E_{max,lit}^\beta = 2,274 \text{ MeV}$ haben wir damit eine σ -Abweichung von

$$\sigma_{E^\beta} = 1,24 \quad (4.4)$$

erhalten, was zeigt dass die Werte gut übereinstimmen.

Im nächsten Versuchsteil haben wir die Absorption von γ -Strahlung gemessen, indem wir unser ^{60}Co -Präparat mit Blei abgeschirmt haben, analog zum ersten Versuchsteil. Wir haben wieder die Zählrate ohne Untergrund in einem logarithmischen Diagramm aufgetragen, und eine Gerade erhalten. Aus der Geradensteigung haben wir damit den Schwächungskoeffizienten zu

$$\mu = (0,62 \pm 0,04) \frac{1}{\text{cm}} \quad (4.5)$$

berechnet, was uns den materialunabhängigen Massenschwächungskoeffizienten

$$\mu_\rho = (0,054 \pm 0,004) \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \quad (4.6)$$

gegeben hat. Mithilfe der Praktikumsanleitung haben wir daraus wieder die Maximalenergie bestimmt, wobei wir

$$E_{max}^\gamma = (1,42 \pm 0,05) MeV \quad (4.7)$$

erhalten haben. Mit dem Literaturwert von $E_{max,lit}^\gamma = 1,333 MeV$ haben wir damit eine Abweichung von

$$\sigma_{E^\gamma} = 1,74 \quad (4.8)$$

erhalten, womit auch diese Werte gut übereinstimmen.

Als nächstes haben wir die Aktivität des ^{60}Co -Präparats bestimmt, indem wir für drei verschiedene Abstände des Präparats zum Zählrohr die Zählrate gemessen haben. Die Aktivität haben wir dann über die Formel für den Raumwinkel berechnet. Dabei haben wir noch zwei Korrekturen durchgeführt, die Raumwinkelkorrektur, da das Zählrohr auf seiner vollen Länge Strahlung messen kann, sowie die Absorptionskorrektur, welche die Absorption der Präparatkapsel berücksichtigt. Wir haben folgende Ergebnisse für die Unterschiedlichen Aktivitäten, sowie die Korrekturfaktoren erhalten:

d [cm]	Zählrate n [1/s]	A [kBq]	A_{rw} [kBq]	k_1	A_{korr} [kBq]	k_2
$5,0 \pm 0,3$	$162,0 \pm 1,6$	410 ± 50	810 ± 70	$1,96 \pm 0,29$	860 ± 70	
$10,0 \pm 0,3$	$55,2 \pm 0,9$	560 ± 40	810 ± 40	$1,44 \pm 0,11$	860 ± 40	
$20,0 \pm 0,3$	$15,4 \pm 0,5$	630 ± 28	762 ± 29	$1,21 \pm 0,07$	810 ± 30	$1,062 \pm 0,005$

Tabelle 4: Aktivität des γ -Strahlers

Wir konnten dabei sehen, dass die Aktivitäten ohne Korrektur stark voneinander abweichen, da die Überschätzung des Raumwinkels vom Abstand des Präparates abhängt, wie in der Auswertung erläutert. Wie erwartet nähert sich damit der Korrekturfaktor k_1 der 1 an, für große Abstände.

Nach der Korrektur stimmen die Aktivitäten innerhalb der Fehlergrenzen untereinander überein. Wir haben dann aus den Herstellerangaben die theoretische Aktivität des Präparats berechnet, und dabei eine Aktivität von

$$A_{akt} = (764,4 \pm 0,3) kBq \quad (4.9)$$

erhalten. Die Abweichungen der Aktivitäten vor und nach der Korrektur haben wir in folgender Tabelle zusammengefasst:

A_{akt} [kBq]	A [kBq]	σ_A	A_{korr} [kBq]	$\sigma_{A_{korr}}$
	410 ± 50	7,06	860 ± 70	1,29
$764,4 \pm 0,3$	560 ± 40	5,70	860 ± 40	2,19
	630 ± 28	4,80	810 ± 30	1,43

Tabelle 5: Abweichungen Aktivität

Die Abweichungen hier wie erwartet vor der Korrektur signifikant, stimmen jedoch nach der Berücksichtigung der Zählrohrlänge und der Absorption der Präparatkapsel einigermaßen gut

mit dem Literaturwert überein, sodass die Abweichung nicht mehr signifikant ist.

Zum Schluss des Experiments haben wir noch die Absorption von α -Strahlung untersucht, indem wir den Druck in einem Glasrohr variiert haben, in dem ein ^{241}Am -Präparat eingebaut war. Wir haben zunächst die Zählrate über den Druck aufgetragen, und haben wir bei α -Strahlung erwartet eine konstante Zählrate bis zu einem sehr schnellen Abfall auf den Untergrund erhalten. Wir haben den Druck, bei dem sich die Zählrate halbiert hat, abgelesen und

$$p_{1/2} = (415 \pm 5)\text{mbar} \quad (4.10)$$

erhalten. Daraus haben wir die Reichweite der Alphastrahlung aus dem Normaldruck und dem Abstand von Präparat und Zählrohr sowie $p_{1/2}$ berechnet, und

$$s_1 = (1,618 \pm 0,028)\text{cm} \quad (4.11)$$

erhalten. Unter Berücksichtigung der Flächendichte des Zählrohrfensters, sowie der Schutzschicht der Americium-Quelle haben wir eine Gesamtreichweite von

$$s = (3,872 \pm 0,028)\text{cm} \quad (4.12)$$

was mit dem Diagramm im Praktikumsskript einer Energie von

$$E_{max}^\alpha = (5,40 \pm 0,20)\text{MeV} \quad (4.13)$$

entspricht. Mit dem Literaturwert von $E_{max,lit}^\alpha = 5,48\text{MeV}$ entspricht dies einer Abweichung von

$$\sigma_{E^\alpha} = 0,40 \quad (4.14)$$

Die Abweichung ist also nicht signifikant.

Versuch 253 Absorption - Auswertung

Felix Fleischle - 1.3.2022

```
In [2]: import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit

#%matplotlib qt5
```

1. Absorption von Betastrahlung

```
In [3]: # Messwerte:
t_beta = np.array([30, 30, 30, 30, 30, 30, 120, 120, 120, 120, 120, 120, 120, 120, 120, 120]) #s
N_beta = np.array([402, 250, 189, 124, 86, 45, 139, 107, 77, 67, 56, 42, 48, 53, 47, 55]) # Gezählte Zerfälle
N_beta_err = np.sqrt(N_beta)
x_beta = np.array([0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.1, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3, 3.6, 3.9, 4.2, 4.5])

n_beta = N_beta / t_beta
n_beta_err = N_beta_err / t_beta

print("Zählraten Beta:", n_beta, "+-", n_beta_err)
```

Zählraten Beta: [13.4 8.33333333 6.3 4.13333333 2.86666667 1.5
1.15833333 0.89166667 0.64166667 0.55833333 0.46666667 0.35
0.4 0.44166667 0.39166667 0.45833333] +- [0.66833126 0.52704628 0.45825757 0.37118429 0.30912062 0.2236068
0.09824855 0.08620067 0.0731247 0.06821127 0.06236096 0.05400617
0.05773503 0.06066758 0.05713046 0.06180165]

```
In [4]: N_0beta = 113
N_0beta_err = np.sqrt(N_0beta)
t_0beta = 300
n_0beta = N_0beta / t_0beta
n_0beta_err = N_0beta_err / t_0beta

print("Zählrate n_0^b:", n_0beta, "+-", n_0beta_err)
```

Zählrate n_0^b: 0.3766666666666665 +- 0.03543381937578217

```
In [5]: n_beta_diff = n_beta - n_0beta
```

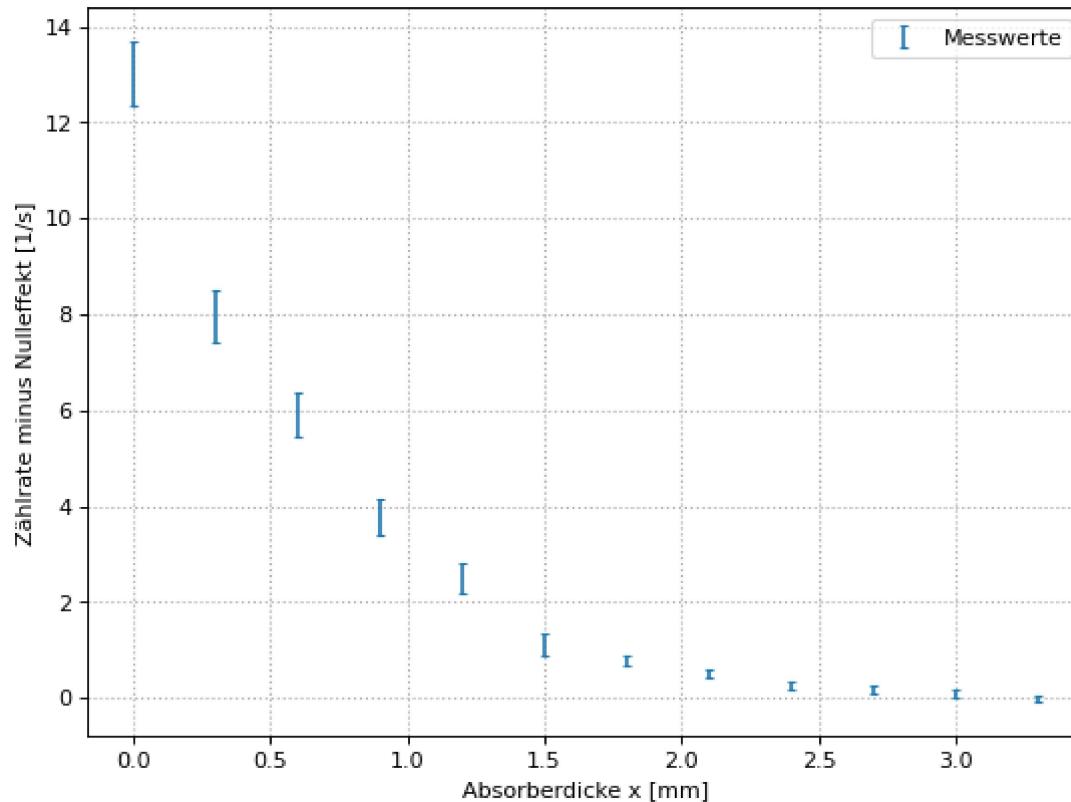
```
n_beta_diff_err = np.sqrt(n_beta_err**2 + n_0beta_err**2)

print("n minus Untergrund:", n_beta_diff, "+-", n_beta_diff_err)

n minus Untergrund: [13.02333333  7.95666667  5.92333333  3.75666667  2.49      1.12333333
 0.78166667  0.515       0.265       0.18166667  0.09       -0.02666667
 0.02333333  0.065       0.015       0.08166667] +- [0.66926992  0.52823606  0.45962545  0.37287174  0.31114484  0.2263969
 0.10444297  0.09319931  0.08125748  0.07686568  0.07172478  0.06459274
 0.06774134  0.07025746  0.06722681  0.07123903]
```

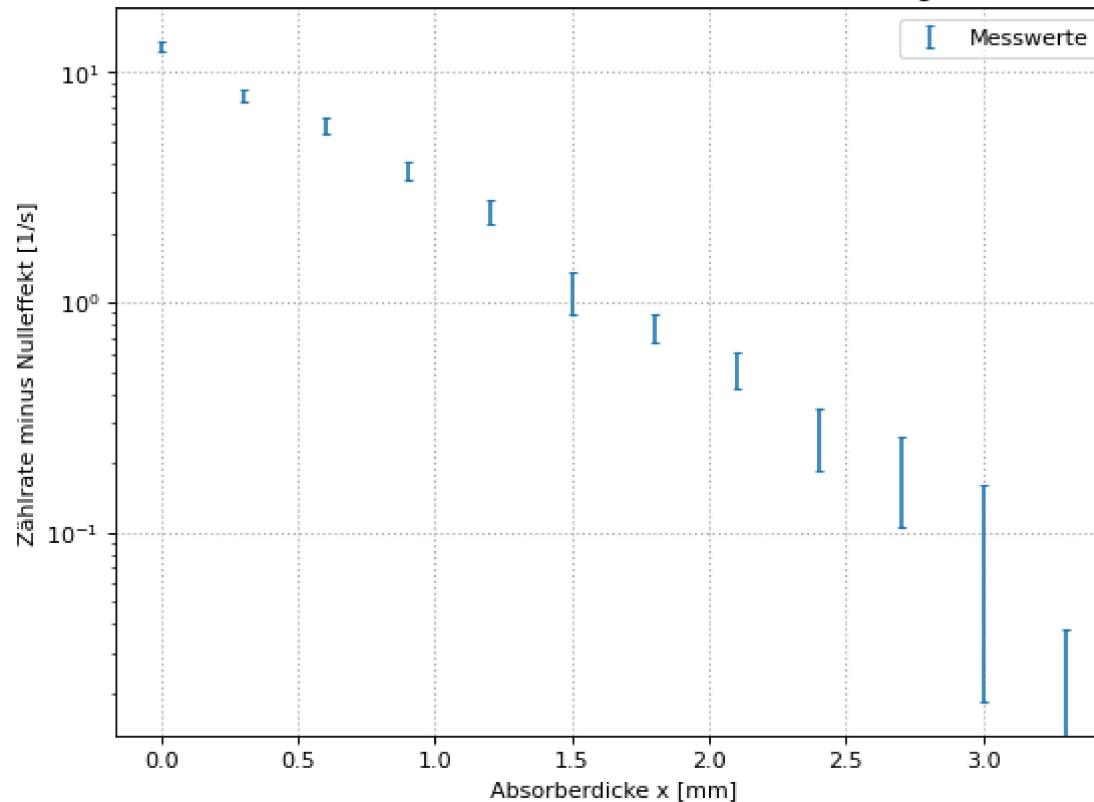
```
In [6]: plt.figure(figsize=(8, 6), dpi=80)
plt.errorbar(x_beta[:-4], n_beta_diff[:-4], yerr = n_beta_diff_err[:-4], linestyle='None', label="Messwerte", capsize = 2)
plt.xlabel('Absorberdicke x [mm]')
plt.ylabel('Zählrate minus Nulleffekt [1/s]')
plt.title('Zählrate als Funktion der Absorberdicke - Betazerfall')
#plt.yscale('log')
plt.legend()
plt.grid(linestyle=":", linewidth=1)
```

Zählrate als Funktion der Absorberdicke - Betazerfall



```
In [7]: plt.figure(figsize=(8, 6), dpi=80)
plt.errorbar(x_beta[:-4],n_beta_diff[:-4], yerr = n_beta_diff_err[:-4], linestyle='None', label="Messwerte", capsize = 2)
plt.xlabel('Absorberdicke x [mm]')
plt.ylabel('Zählrate minus Nulleffekt [1/s]')
plt.title('Zählrate als Funktion der Absorberdicke - Betazerfall - Logarithmisch')
plt.yscale('log')
plt.legend()
plt.grid(style=":", linewidth=1)
```

Zählrate als Funktion der Absorberdicke - Betazerfall - Logarithmisch



```
In [8]: def expfunc(x, a, mu, b):
    return a * np.exp(- mu * x) + b
popt_beta, pcov_beta = curve_fit(expfunc, x_beta[:-4], n_beta_diff[:-4], sigma = n_beta_diff_err[:-4])
xlinspace = np.linspace(0, 5, 100)

n_beta_diff_ext = n_beta_diff - n_beta_diff_err
popt_beta_ext, pcov_beta_ext = curve_fit(expfunc, x_beta[:-4], n_beta_diff_ext[:-4], sigma = n_beta_diff_err[:-4])
```

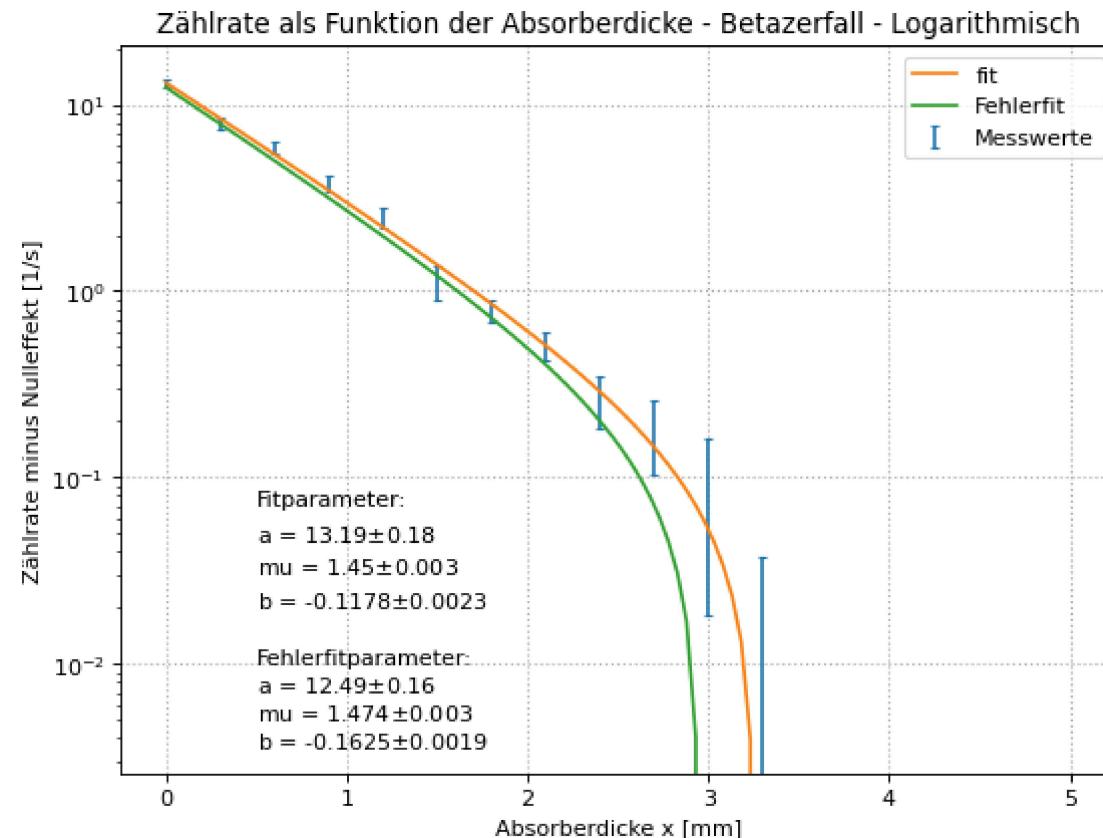
```
In [51]: plt.figure(figsize=(8, 6), dpi=80)
plt.errorbar(x_beta[:-4], n_beta_diff[:-4], yerr = n_beta_diff_err[:-4], linestyle='None', label="Messwerte", capsize = 2)
plt.plot(xlinspace,expfunc(xlinspace,*popt_beta), label="fit")
plt.plot(xlinspace,expfunc(xlinspace,*popt_beta_ext), label="Fehlerfit")
plt.xlabel('Absorberdicke x [mm]')
plt.ylabel('Zählrate minus Nulleffekt [1/s]')
plt.title('Zählrate als Funktion der Absorberdicke - Betazerfall - Logarithmisch')
plt.yscale('log')
```

```

plt.legend()
# plt.axis([-0.1, 4, 11, 0.01])
plt.text(0.5, 0.07, 'Fitparameter:')
plt.text(0.5, 0.045, 'a = ' + str(np.round(popt_beta[0],2)) + '$\pm$' + str(np.round(pcov_beta[0,0],2)))
plt.text(0.5, 0.03, 'mu = ' + str(np.round(popt_beta[1],3)) + '$\pm$' + str(np.round(pcov_beta[1,1],3)))
plt.text(0.5, 0.02, 'b = ' + str(np.round(popt_beta[2],4)) + '$\pm$' + str(np.round(pcov_beta[2,2],4)))
plt.text(0.5, 0.01, 'Fehlerfitparameter:')
plt.text(0.5, 0.007, 'a = ' + str(np.round(popt_beta_ext[0],2)) + '$\pm$' + str(np.round(pcov_beta_ext[0,0],2)))
plt.text(0.5, 0.005, 'mu = ' + str(np.round(popt_beta_ext[1],3)) + '$\pm$' + str(np.round(pcov_beta_ext[1,1],3)))
plt.text(0.5, 0.0035, 'b = ' + str(np.round(popt_beta_ext[2],4)) + '$\pm$' + str(np.round(pcov_beta_ext[2,2],4)))

plt.grid(linestyle=":", linewidth=1)

```



In [22]:

```

x_max_beta_err = 3.23 - 2.93
x_max_beta = 3.23 #mm

```

```

x_max_beta_cm = x_max_beta * 0.1
x_max_beta_cm_err = x_max_beta_err * 0.1

rho_beta = 2.6989 #g/cm^3

R_beta = rho_beta * x_max_beta_cm
R_beta_err = rho_beta * x_max_beta_cm_err

print("R Beta:", R_beta, "+-", R_beta_err)

R_es_beta = 0.130 #g/cm^2

R_ges_beta = R_beta + R_es_beta
R_ges_beta_err = R_beta_err

print("Gesamt R Beta:", R_ges_beta, "+-", R_ges_beta_err)

```

R Beta: 0.8717447 +- 0.08096699999999996
 Gesamt R Beta: 1.0017447000000002 +- 0.08096699999999996

In [23]:

```

E_max_beta = 2.15 #MeV
E_max_beta_err = 0.1

E_max_beta_lit = 2.274

sigma_E_max_beta = (E_max_beta_lit - E_max_beta)/E_max_beta_err
print("Sigma:", sigma_E_max_beta)

```

Sigma: 1.240000000000001

2. Absorption von Gammastrahlung

In [24]:

```

n0_gamma = 90 / 300
n0_gamma_err = np.sqrt(90) / 300
print("n0 gamma:", n0_gamma, "+-", n0_gamma_err)

```

n0 gamma: 0.3 +- 0.03162277660168379

In [25]:

```

x_gamma = np.array([0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5])
N_gamma = np.array([1227, 800, 620, 505, 341, 286, 228, 165, 132, 87, 84])
N_gamma_err = np.sqrt(N_gamma)
t_gamma = 60
n_gamma = N_gamma / t_gamma
n_gamma_err = N_gamma_err / t_gamma

```

```
print("Zählrate Gamma:", n_gamma, "+-", n_gamma_err)

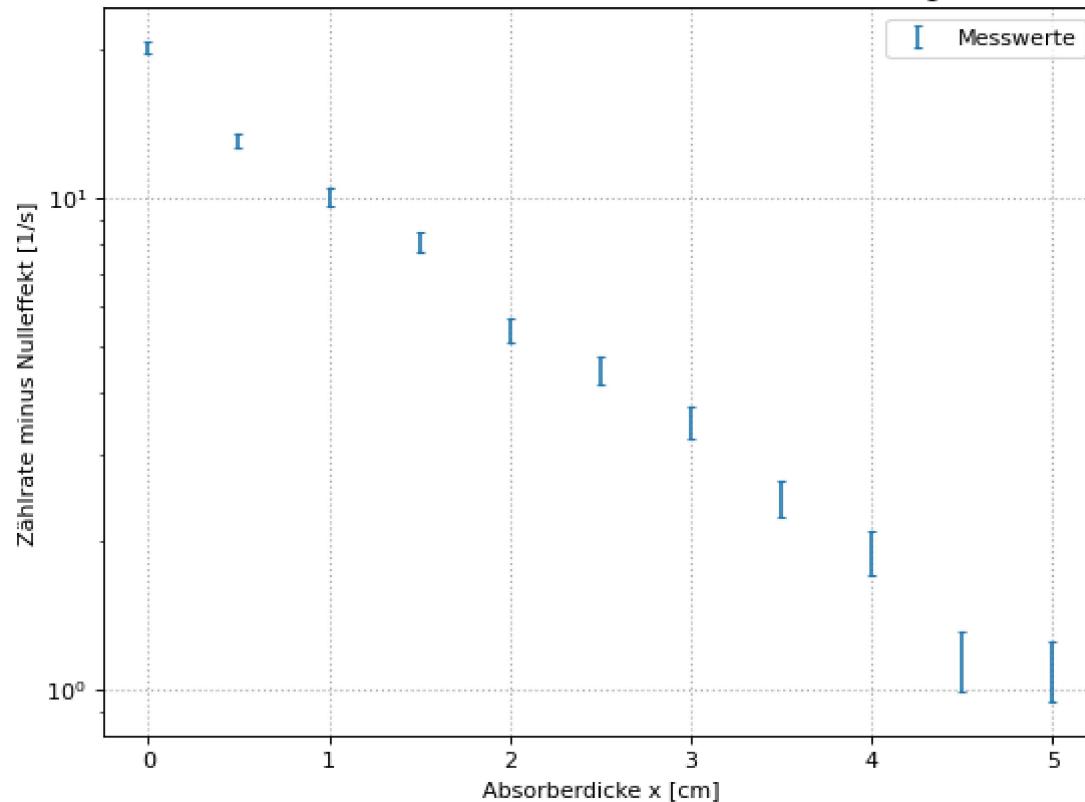
Zählrate Gamma: [20.45      13.33333333 10.33333333 8.41666667 5.68333333 4.76666667
3.8          2.75      2.2          1.45      1.4          ] +- [0.58380933 0.47140452 0.41499665 0.37453675 0.30776976 0.2818589
1
0.25166115 0.21408721 0.19148542 0.15545632 0.15275252]
```

```
In [26]: n_gamma_diff = n_gamma - n0_gamma
n_gamma_diff_err = np.sqrt(n_gamma_err**2 + n0_gamma_err**2)
print("Zählraten minus Untergrund:", n_gamma_diff, "+-", n_gamma_diff_err)

Zählraten minus Untergrund: [20.15      13.03333333 10.03333333 8.11666667 5.38333333 4.46666667
3.5          2.45      1.9          1.15      1.1          ] +- [0.58466515 0.47246399 0.41619974 0.37586936 0.30939008 0.2836273
0.25364017 0.2164101 0.19407902 0.15864005 0.15599145]
```

```
In [27]: plt.figure(figsize=(8, 6), dpi=80)
plt.errorbar(x_gamma,n_gamma_diff, yerr = n_gamma_diff_err, linestyle='None', label="Messwerte", capsize = 2)
plt.xlabel('Absorberdicke x [cm]')
plt.ylabel('Zählrate minus Nulleffekt [1/s]')
plt.title('Zählrate als Funktion der Absorberdicke - Gammazerfall - Logarithmisch')
plt.yscale('log')
plt.legend()
plt.grid(linestyle=":", linewidth=1)
```

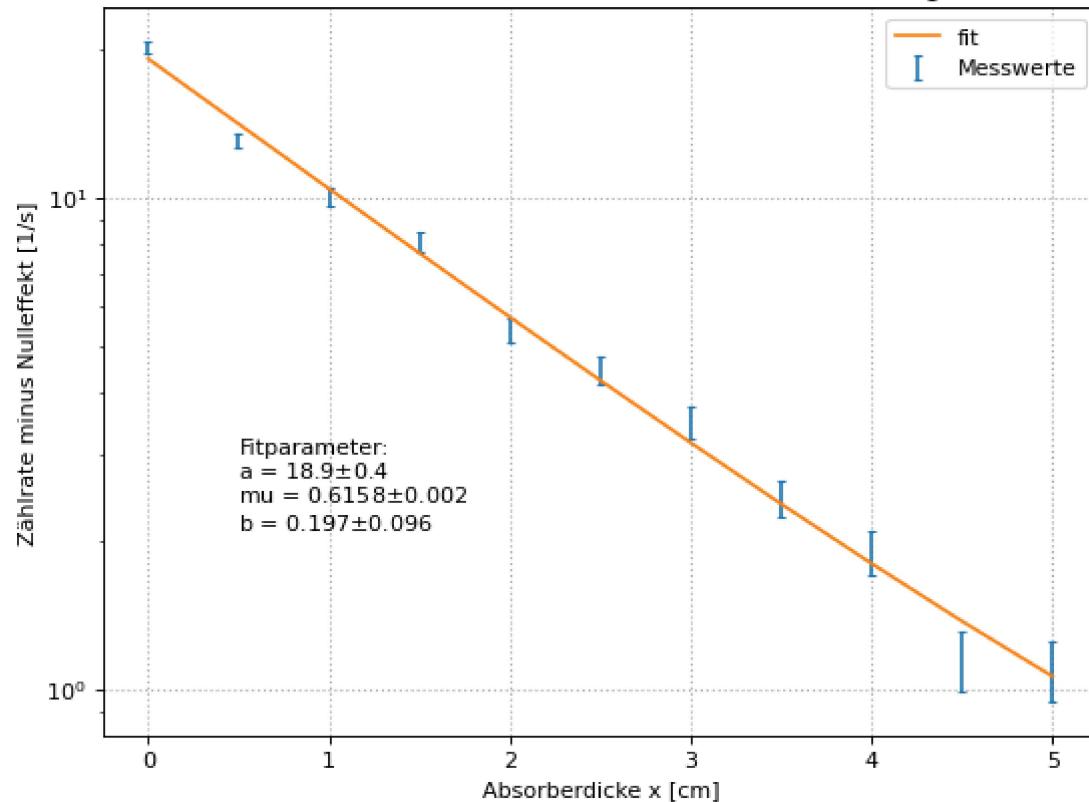
Zählrate als Funktion der Absorberdicke - Gammazerfall - Logarithmisch



```
In [28]: popt_gamma, pcov_gamma = curve_fit(expfunc, x_gamma, n_gamma_diff, sigma=n_gamma_diff_err)
```

```
In [53]: plt.figure(figsize=(8, 6), dpi=80)
plt.errorbar(x_gamma,n_gamma_diff, yerr = n_gamma_diff_err, linestyle='None', label="Messwerte", capsize = 2)
plt.plot(x_gamma,expfunc(x_gamma,*popt_gamma), label="fit")
plt.xlabel('Absorberdicke x [cm]')
plt.ylabel('Zählrate minus Nulleffekt [1/s]')
plt.title('Zählrate als Funktion der Absorberdicke - Gammazerfall - Logarithmisch')
plt.yscale('log')
plt.text(0.5, 3, 'Fitparameter:')
plt.text(0.5, 2.7, 'a = ' + str(np.round(popt_gamma[0],1)) + '\u00b1' + str(np.round(pcov_gamma[0,0],1)))
plt.text(0.5, 2.4, 'mu = ' + str(np.round(popt_gamma[1],4)) + '\u00b1' + str(np.round(pcov_gamma[1,1],4)))
plt.text(0.5, 2.1, 'b = ' + str(np.round(popt_gamma[2],3)) + '\u00b1' + str(np.round(pcov_gamma[2,2],3)))
plt.legend()
plt.grid(style=":", linewidth=1)
```

Zählrate als Funktion der Absorberdicke - Gammazerfall - Logarithmisch



```
In [30]: mu_gamma = popt_gamma[1]
mu_gamma_err = np.sqrt(pcov_gamma[1,1])

print("mu:", mu_gamma, "+-", mu_gamma_err) # in 1/cm

rho_gamma = 11.342 #g/cm^3

mu_gamma_rho = mu_gamma / rho_gamma
mu_gamma_rho_err = mu_gamma_err / rho_gamma
print("Massenschwächungskoeff:", mu_gamma_rho, "+-", mu_gamma_rho_err) # cm^2/g

mu: 0.6158182527208421 +- 0.044831323387756895
Massenschwächungskoeff: 0.054295384651811156 +- 0.003952682365346225
```

```
In [31]: E_gamma = 1.42
E_gamma_err = 1.42 - 1.37
```

```
E_gamma_lit = 1.333
sigma_E_gamma = np.abs((E_gamma_lit - E_gamma)/E_gamma_err)
print("Sigma:", sigma_E_gamma)
```

Sigma: 1.740000000000055

3. Aktivität von Gamma

```
In [32]: d_gamma = np.array([5, 10, 20]) #cm
d_gamma_err = np.array([0.3, 0.3, 0.3]) #cm
```

```
N_gamma_ak = np.array([9719, 3314, 926])
N_gamma_ak_err = np.sqrt(N_gamma_ak)
t_gamma_ak = 60

n_gamma_ak = N_gamma_ak / t_gamma_ak
n_gamma_ak_err = N_gamma_ak_err / t_gamma_ak
print("Zählraten Aktivität:", n_gamma_ak, "+-", n_gamma_ak_err)

r_gamma = 0.7 #cm
```

Zählraten Aktivität: [161.98333333 55.23333333 15.43333333] +- [1.64308315 0.95945586 0.5071708]

```
In [54]: A = (4*n_gamma_ak*(d_gamma)**2)/(2 * 0.04 * (r_gamma)**2)
A_err = np.sqrt( ((4*n_gamma_ak_err*(d_gamma)**2)/(2 * 0.04 * (r_gamma)**2))**2 + ((4*n_gamma_ak*2*(d_gamma)*d_gamma_err)/(2 * 0.04 * (r_gamma)**2))**2 )
print("Aktivität:", A, "+-", A_err)
```

Aktivität: [413222.78911565 563605.44217687 629931.97278912] +- [49763.57356277 35205.04517397 28029.59173561]

```
In [55]: # Daten von SN 372:
A_2019 = 1160 * 10**3 #Bq
A_2010 = 3700 * 10**3 #Bg
T_12 = 5.2713 * 365 #Tage
lmbda_12 = np.log(2)/T_12
T_dist_2019 = 3 * 365 + 31 + 30 # 3 Jahre und 2 Monate zwischen 1.1.2019 und 1.3.2022
T_dist_2010 = 12 * 365 - 1 # 12 Jahre minus 1 Tag zwischen 2.3.2010 und 1.3.2022

A_akt_1 = A_2019 * np.exp(-lmbda_12 * T_dist_2019)
A_akt_2 = A_2010 * np.exp(-lmbda_12 * T_dist_2010)
print(A_akt_1, A_akt_2)
A_akt = np.mean([A_akt_1, A_akt_2])
A_akt_err = np.std([A_akt_1, A_akt_2])/np.sqrt(2)
```

```

print("Aktuelle Aktivität:", A_akt, "+-", A_akt_err)

# Test mit anderer Probe
#A_2019_2 = 2210 * 10**3
#A_2015_2 = 3700 * 10**3
#T_dist_2015 = 7*365 + 29

#A_akt_1_2 = A_2019_2 * np.exp(-Lambda_12 * T_dist_2019)
#A_akt_2_2 = A_2015_2 * np.exp(-Lambda_12 * T_dist_2015)
#print(A_akt_1_2, A_akt_2_2)

```

764877.6276236208 763958.7920907114
Aktuelle Aktivität: 764418.209857166 +- 324.8574180576873

In [56]:

```

sigma_ak = (np.abs(A-A_akt))/(np.sqrt(A_akt_err**2 + A_err**2))
print("Sigma Aktivität:", sigma_ak)

```

Sigma Aktivität: [7.05712859 5.70384778 4.79768692]

In [57]:

```

# Raumwinkelkorrektur
A_rw = (4*n_gamma_ak*(d_gamma + 2)**2)/(2 * 0.04 * (r_gamma)**2)
A_rw_err = np.sqrt( ((4*n_gamma_ak_err*(d_gamma)**2)/(2 * 0.04 * (r_gamma)**2))**2 + ((4*n_gamma_ak*2*(d_gamma+2)*d_gamma_err)/(2 * 0.04 * (r_gamma)**2))**2 )
print("Aktivitäten Raumwinkelcorr:", A_rw, "+-", A_rw_err)

# Korrfaktor:
k1 = A_rw / A
k1_err = np.sqrt((A_rw_err / A)**2 + (A_rw * A_err / A**2)**2)
print("Korrekturfaktor k1:", k1, "+-", k1_err)

```

Aktivitäten Raumwinkelcorr: [809916.66666667 811591.83673469 762217.68707483] +- [69547.85216693 41743.91619521 29336.93770215]
Korrekturfaktor k1: [1.96 1.44 1.21] +- [0.2898986 0.11651789 0.07118782]

In [58]:

```

sigma_ak_rw = (np.abs(A_rw-A_akt))/(np.sqrt(A_akt_err**2 + A_rw_err**2))
print("Sigma Aktivität:", sigma_ak_rw)

```

Sigma Aktivität: [0.65419649 1.13003769 0.07500401]

In [59]:

```

# Absorptionskorrektur
rho_ab = 7.9 #g/cm^3
x_ab = 0.14 #cm
mu_ab = mu_gamma_rho * rho_ab
mu_ab_err = mu_gamma_rho_err * rho_ab

k2 = np.exp(x_ab * mu_ab)

```

```

k2_err = x_ab * mu_ab_err * np.exp(x_ab * mu_ab)
print("Korrekturfaktor k2:", k2, "+-", k2_err)

A_korr = A_rw * k2
A_korr_err = np.sqrt((A_rw_err * k2)**2 + (A_rw*k2_err)**2)

print("Korrigierte Aktivitäten:", A_korr, "+-", A_korr_err)

```

Korrekturfaktor k2: 1.0618903781647613 +- 0.0046422308011031714
Korrigierte Aktivitäten: [860042.71544861 861821.56242564 809391.62797176] +- [73947.8394485 44487.28758085 31352.91745853]

In [60]:

```

sigma_ak_korr = (np.abs(A_korr-A_akt))/(np.sqrt(A_akt_err**2 + A_korr_err**2))
print("Sigma Aktivität:", sigma_ak_korr)

```

Sigma Aktivität: [1.29312207 2.18940648 1.43434831]

4. Absorption von Alpha-Strahlung'

In [61]:

```

# Messwerte
p_alpha = np.array([22, 141, 235, 345, 388, 432, 452, 465, 500, 554, 625, 756, 854, 959]) #mbar
t_alpha = 60
N_alpha = np.array([13292, 13076, 13240, 12284, 9007, 5509, 3723, 2294, 762, 342, 315, 278, 302, 359])
N_alpha_err = np.sqrt(N_alpha)
n_alpha = N_alpha/t_alpha
n_alpha_err = N_alpha_err / t_alpha
print("Zählraten:", n_alpha, "+-", n_alpha_err)

```

Zählraten: [221.53333333 217.93333333 220.66666667 204.73333333 150.11666667
91.81666667 62.05 38.23333333 12.7 5.7
5.25 4.63333333 5.03333333 5.98333333] +- [1.92151561 1.90583898 1.91775332 1.84722013 1.5817536 1.23704397
1.01693985 0.798262 0.46007246 0.3082207 0.29580399 0.27788887
0.28963579 0.31578826]

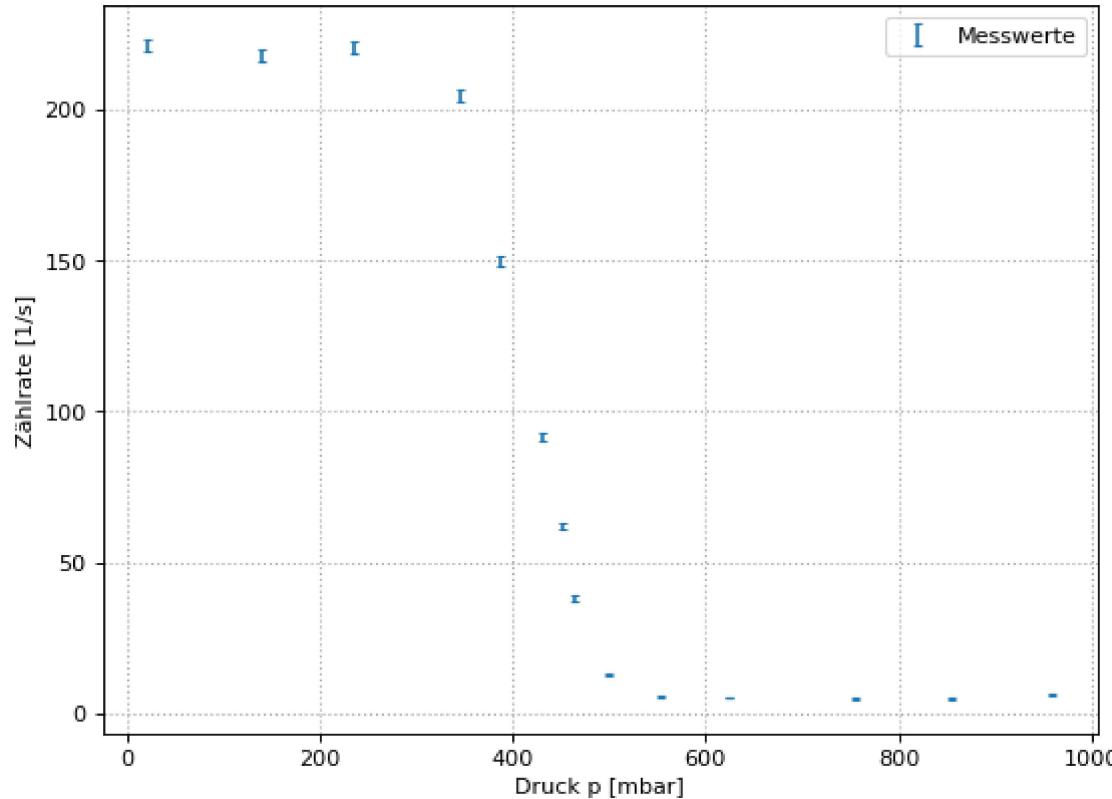
In [62]:

```

plt.figure(figsize=(8, 6), dpi=80)
plt.errorbar(p_alpha,n_alpha, yerr = n_alpha_err, linestyle='None', label="Messwerte", capsize = 2)
plt.xlabel('Druck p [mbar]')
plt.ylabel('Zählrate [1/s]')
plt.title('Zählrate als Funktion des Drucks - Alphazerfall')
# plt.yscale('log')
plt.legend()
plt.grid(linestyle=":", linewidth=1)

```

Zählrate als Funktion des Drucks - Alphazerfall



```
In [63]: p_12 = 415
p_12_err = 5

p0 = 1013 #mbar
s0 = 3.95 #cm
s0_err = 0.05 #cm

s1_alpha = p_12 * s0 / p0
s1_alpha_err = np.sqrt((p_12_err * s0 / p0)**2 + (p_12 * s0_err / p0)**2)
print("s1:", s1_alpha, "+-", s1_alpha_err)

s1: 1.618213228035538 +- 0.02827892697064406
```

```
In [64]: rho_gl = 2.25 #mg/cm^2
rho_gl0 = 1.43 #mg/cm^2
```

```
s2_alpha = rho_g1 / rho_g10
print("s2:", s2_alpha)
```

s2: 1.5734265734265735

```
In [65]: s3_alpha = 0.68 #cm
sges_alpha = s1_alpha + s2_alpha + s3_alpha
sges_alpha_err = s1_alpha_err

print("Gesamtreichweite:", sges_alpha, "+-", sges_alpha_err)
```

Gesamtreichweite: 3.8716398014621114 +- 0.02827892697064406

```
In [66]: E_alpha = 5.4
E_alpha_err = 0.2

E_alpha_lit = 5.48 #MeV

sigma_E_alpha = (E_alpha_lit - E_alpha)/(E_alpha_err)
print("Abweichung:", sigma_E_alpha)
```

Abweichung: 0.4000000000000036

In []:

In []: