

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

Marius Mangold

January 3, 2022

Contents

1 Einleitung	2
1.1 Grundlagen	2
1.1.1 allgemeines	2
1.1.2 Absorption	2
2 Aufgabe	3
3 Durchführung des Versuchs	4
3.1 Inbetriebnahme des Zählrohrs	4
3.2 Messung des Nulleffekts	4
3.3 Absorption von β -Strahlung in Aluminium	4
3.4 Absorption von γ -Strahlung in Blei	4
3.5 Bestimmung der Aktivität des γ -Strahlers	4
3.6 Absorptionsmessung und Energiebestimmung von α -Strahlung	4
4 Messprotokoll	5
4.1 Geräteliste	5
4.2 Nulleffekt	5
4.3 Absorption von β -Strahlung in Aluminium	5
4.4 Absorption von γ -Strahlung in Blei	6
4.5 Bestimmung der Aktivität des γ -Strahlers	6
4.6 Absorptionsmessung und Energiebestimmung von α -Strahlung	6
5 Auswertung	7
5.1 Nulleffekt	7
5.2 Absorption von β -Strahlung in Aluminium	7
5.3 Absorption von γ -Strahlung in Blei	9
5.4 Bestimmung der Aktivität des γ -Strahlers	11
5.4.1 Winkelkorrektur	11
5.4.2 Absorptionskorrektur	12
5.5 Absorptionsmessung und Energiebestimmung von α -Strahlung	12
6 Zusammenfassung und Diskussion	15
6.1 Nulleffekt	15
6.2 Absorption von β -Strahlung in Aluminium	15
6.3 Absorption von γ -Strahlung in Blei	15
6.4 Bestimmung der Aktivität des γ -Strahlers	15
6.5 Absorptionsmessung und Energiebestimmung von α -Strahlung	16
7 Abbildungsverzeichnis	17
8 Anhang: Jupyter-Notebook	18

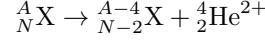
1 Einleitung

1.1 Grundlagen

1.1.1 allgemeines

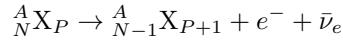
Unter Radioaktivität verstehen wir die Eigenschaft einer Gruppe an Nukliden, bei welcher Atomkerne spontan und unter der Freigabe von Energie in einen energetisch günstigeren Zustand übergehen. Die Freigabe der Energie kann sich in drei Arten von Strahlung veräußern.

α -Strahlung Bei der α -Strahlung handelt es sich um 2-fach positiv geladene Heliumkerne, welche eine für den jeweiligen Zerfallsstoff Energie haben. Es gilt:

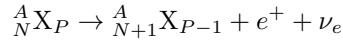


β -Strahlung Bei β -Strahlung handelt es sich um Elektronen oder Positronen wobei je nachdem in β Minus und β plus Zerfall und das halt wird.

β^- -Strahlung



β^+ -Strahlung



Da neben dem Elektron bzw. Positron noch ein weiteres Neutrino imitiert wird, finden wir beim β Zerfall ein kontinuierliches Spektrum vor, welches durch eine maximalenergie charakterisiert wird.

γ -Strahlung ist ein Nebenprodukt der Alpha und β -Strahlung, bei welcher elektromagnetische Strahlung freigesetzt wird. Da sie beim Übergang verschiedener diskrete Energien im Atomkern entsteht, finden wir für jeden Stoff ein charakteristisches Energiespektrum mit diskreten Energiewerten vor.

Das Zerfallsgesetz beschreibt mit der jeweiligen Zerfallskonstante λ , der Zeit t und dem Nullwert n_0 aller drei Zerfälle.

$$n = n_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Aus dieser Formel lässt sich leicht ein Ausdruck für die Halbwertszeit $T_{1/2}$ bestimmen.

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

1.1.2 Absorption

Da sich bei den verschiedenen Strahlungen augenscheinlich um unterschiedliche Objekte handelt, ist auch die Absorption bzw. die Bremsung unterschiedlicher Natur.

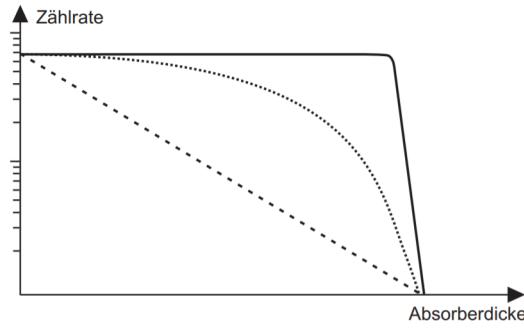


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Reichweiten der (v.o.n.u) Alpha-, Beta- und γ -Strahlung¹

Alpha und β -Strahlung wird größtenteils durch „Stöße“ und andere Wechselwirkungen mit Elektronen in den Atomhüllen der bremsenden Stoffe verlangsamt. Der zu beobachtende Energieverlust ist umgekehrt proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit. Dies führt dazu, dass die Strahlung nicht kontinuierlich durch das Material verlangsamt wird, sondern in einem relativ dünnen Bereich absorbiert wird. Indem wir die Dicke des absorbierenden Materials variieren, und die durchdringende Strahlung messen, wollen wir in diesem Versuch die jeweilige Reichweite bestimmen.

Bei der β -Strahlung finden wir ein Verhalten entsprechend des Lambert-beersches Gesetzes vor:

$$n = n_0 e^{-\mu x} \quad (3)$$

Mit dem Schwächungskoeffizienten μ , einer Stoffkonstante des Absorptionsmaterials.

Dieses Verhalten ist ein Resultat des Photoeffekts, de Comptoneffekt sowie der Paarbildung, welche für diesen Versuch jedoch keine signifikante Rolle spielen, da ist uns hauptsächlich um das Resultat, der Absorption geht.

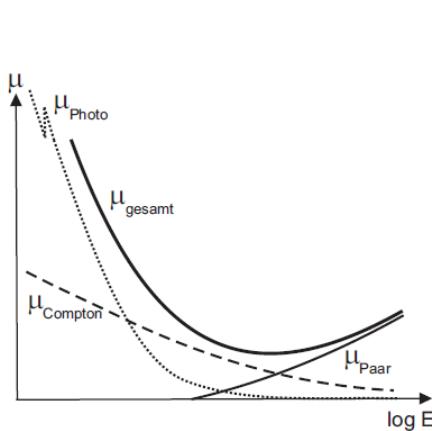


Abbildung 2: Zusammensetzung des Schwächungskoeffizienten für γ -Strahlung²

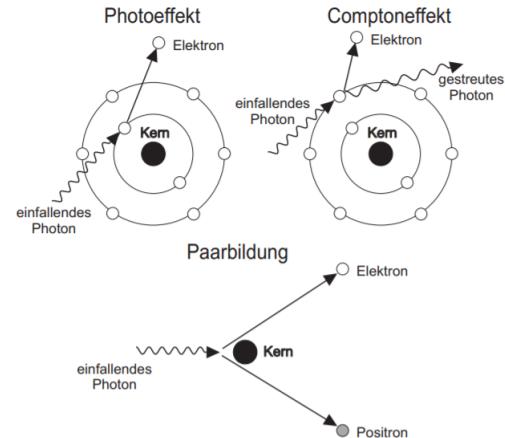


Abbildung 3: Wechselwirkungen zwischen Photon und Atom³

2 Aufgabe

Wir möchten die Absorption von α -, β -, und γ -Strahlung messen. Aus den zu vermessenden Absorptionskurven können wir die Maximalenergien bestimmen. Zusätzlich ist die Aktivität des γ -Strahlers abzuschätzen.

3 Durchführung des Versuchs

3.1 Inbetriebnahme des Zählrohrs

Das Zielgerät BF - SG 11 wird entsprechend der Anleitung unter Grundlagen in Betrieb genommen. Mit 540 Volt liegt die Betriebsspannung im korrekten Bereich, der Zählrohr Radius wird notiert.

3.2 Messung des Nulleffekts

Wir entfernen die Strahlungsquellen aus dem Raum und messen zur Eichung fünf Minuten lang den Nulleffekt. Die Messdaten halten wir im Messprotokoll fest.

3.3 Absorption von β -Strahlung in Aluminium

Wir notieren die Nummer unseres Präparates und bringen es in einen Abstand von ungefähr 6 cm zum Zählrohr.

Wir führen nun nacheinander erst eine Messung ohne Aluminium durch, und erhöhen anschließend in Schritten von 0,3 mm die Aluminiumplatten vor dem See war. Die jeweilige Messung vermerken wir in der Excel-Tabelle, wobei wir für große Zählraten 30 Sekunden Messzeit, für kleine 2 Minuten Messzeit wählen. Zur Bestimmung des Nulleffekts mit Präparat und Aluplatte führen wir eine letzte Messung mit einer zusätzlichen 1 Millimeter Aluminiumplatte über fünf Minuten durch.

3.4 Absorption von γ -Strahlung in Blei

Wir notieren wieder die Kennnummer unseres Präparats und montieren den Bleikollimator im Strahlengang Zielrohres mit dem Präperat. Wir müssen den Abstand zwischen Zählrohr und Präparat und führen zunächst eine Messung ohne Abschirmung durch. Nacheinander führen wir jetzt Messungen durch, bei welchem wir 0,5 cm Bleiplatten auf die Halterung platzieren. Als Messzeit wählen wir jeweils eine Minute.

3.5 Bestimmung der Aktivität des γ -Strahlers

Um die Aktivität des γ -strahlers zu bestimmen wird das Präparat im Abstand von 5 cm in den Bleizylinder eingeschraubt, und im Strahlengang ausgerichtet. Wir messen die Zählrate für 1 Minute und wiederholen die Messung für 10 und 20 cm Abstand.

3.6 Absorptionsmessung und Energiebestimmung von α -Strahlung

Zuletzt möchten wir die Reichweite von α -Strahlung untersuchen. Da diese in Materie jedoch sehr gering ist, benutzten wir Luft als Absorber. Um nicht mühsam die Länge zu variieren, ist die Quelle in einem evakuierbaren Glasrohr verbaut, wodurch die Dichte über den Luftdruck variiert werden kann. Wir evakuieren das Glasrohr auf etwa 20 Millibar und müssen anschließend für verschiedene Drücke jeweils eine Minute lang die Zählrate. Nach einem anfangs nahezu konstanten Verlauf ist ein starker Abfall zu vermuten, welchen wir durch mehrere Messungen in diesem Bereich genauer auflösen.

4 Messprotokoll

4.1 Geräteliste

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

4.2 Nulleffekt

Wir notieren uns die Kenndaten unseres Präparats:

Herstellungsdatum	02.02.2015
Nennaktivität	3700 kBq

Tabelle 0: Kenndaten

Wir entfernen alle Strahlungsquellen aus dem Raum und Maßen 5 Minuten lang den Nulleffekt. Hierbei wurde eine Zielrohr Spannung von 540 Volt eingestellt.

U1 [V]	540
U1_error[V]	10
n0	133
Rohrradius [mm]	7

Tabelle 1: Messung des Nulleffekts

4.3 Absorption von β -Strahlung in Aluminium

Nun messen wir die Absorption der β -Strahlung in Aluminium entsprechend der Durchführung des Versuches.

t [min]	d [cm]	N
5	0	1349
0.5	0.3	706
0.5	0.6	588
0.5	0.9	353
0.5	1.2	342
0.5	1.5	216
0.5	1.8	146
0.5	2.1	74
2	2.4	135
2	2.7	103
2	3	66
5	4	148

Tabelle 2: Absorption von β -Strahlung in Aluminium

4.4 Absorption von γ -Strahlung in Blei

Symmetrisch zum vorherigen Versuch befestigen wir nun das Co-Präparat in der Halterung und führen die Messungen durch. Da wir die Bleiplatten bei erster Durchführung nicht möglichst nah am Kollimator platziert haben, verwerfen wir unsere Messdaten und wiederholen die Messung.

t [min]	d [cm]	N
1	0	1833
1	0.5	1312
1	1	976
1	1.5	729
1	2	555
1	2.5	402
1	3	300
1	3.5	233
1	4	196
1	4.5	144
1	5	111

Tabelle 3: Absorption von γ -Strahlung in Blei

4.5 Bestimmung der Aktivität des γ -Strahlers

Wir platzieren das Präparat in der zylinderförmigen Haltung und justieren einen Abstand von 5cm ein. Wir müssen die Zählrate eine Minute lang und wiederholen die Messung für 10 und 20 cm Abstände.

t [min]	d [cm]	N
1	5,0	26117
1	10,0	6987
1	20,0	1911

Tabelle 4: Zerfälle des γ -Strahlers

4.6 Absorptionsmessung und Energiebestimmung von α -Strahlung

Da α -Strahlung durch Luft reduziert wird, führen wir die Messung in einem Glasrohr durch, in welchem sich der Luftdruck und somit die Luftdichte reduzieren lässt. Der Abstand zwischen Probe und Detektor beträgt 4,5 cm, das Zählrohrfenster besitzt eine Flächendichte von $2,35 \frac{mg}{cm^3}$.

t [min]	p [mbar]	N
1	20	9496
1	100	9286
1	200	9439
1	300	8587
1	342	6131
1	360	3953
1	370	2948
1	380	2154
1	391	1176
1	401	684
1	420	194
1	599	136
1	1011	180

Tabelle 5: Absorptionsmessung und Energiebestimmung α -Strahlung

5 Auswertung

5.1 Nulleffekt

Bei einer Spannung von $U_1 = (540 \pm 10)V$ fanden wir in 5 Minuten insgesamt $n_0 = 118 \pm 11$ Zerfälle, was über die nachstehenden einfachen Zusammenhänge zu einer Zerfallsrate von $n_{0s} = (0.4 \pm 0.04) \frac{1}{s}$ führt.

$$\Delta n_0 = \sqrt{n_0} \quad (4)$$

$$n_{0s} = \frac{n_0}{T} \quad (5)$$

$$\Delta n_{0s} = \frac{\Delta n_0}{T} \quad (6)$$

(7)

5.2 Absorption von β -Strahlung in Aluminium

Wir bestimmen die Messrate der β -Strahlung über den einfachen Zusammenhang

$$n_0^\beta = \frac{n_{beta}}{T} \quad (8)$$

$$\Delta n_0^\beta = \frac{n_{beta_err}}{T} \quad (9)$$

und tragen diese Halblogarithmisch gegen die jeweilige Absorberdicke auf, wobei wir den Nulleffekt abzogen.

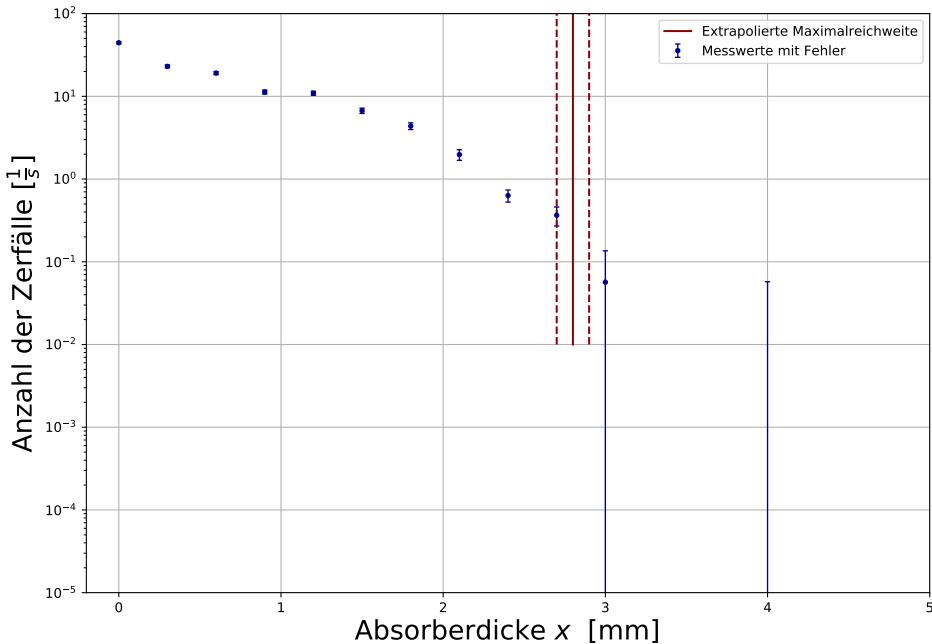


Diagramm 1a: Absorption von β -Strahlung in Aluminium, Halblogarithmisch

Theoretisch ließe sich nun anhand der Messwerte die maximale Reichweite der β -Strahlung in Aluminium bestimmen. Da dies aus der logarithmischen Darstellung jedoch nicht so deutlich wie erhofft sichtbar ist, führen wir den Graph auch in linearer Darstellung aus.

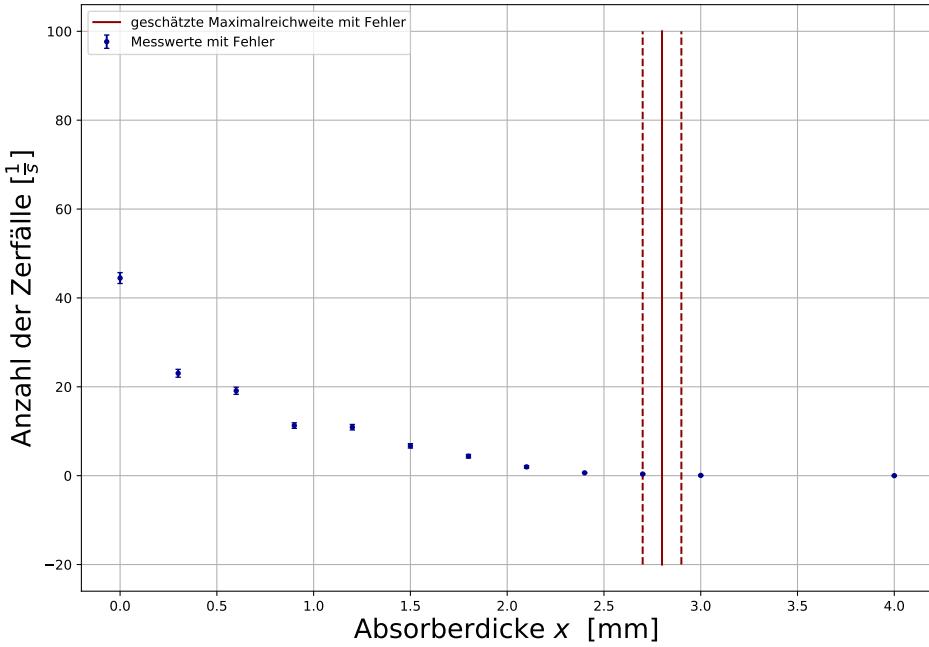


Diagramm 1b: Absorption von β -Strahlung in Aluminium, Linear

Dieser Graph bestätigt unsere Annahme und wir lesen eine maximale Reichweite von

$$x_{\max} = (2.8 \pm 0.1) \text{ mm} \quad (10)$$

ab.

Für die Flächendichte gilt:

$$R_{Al}^{\beta} = \rho_{Al} \cdot x_{\max} \quad (11)$$

Mit dem Fehler:

$$\Delta R_{Al}^{\beta} = \rho_{Al} \cdot \Delta x_{\max} \quad (12)$$

Der Literaturwert von Aluminium beträgt $\rho_{Al} = 2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Die Flächendichte des Fensters ist nach dem Messprotokoll mit $R_{Fs}^{\beta} = 0,130 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2}$ angegeben.

Für die Gesamtflächendichte gilt:

$$R^{\beta} = R_{Al}^{\beta} + R_{Fs}^{\beta} \quad (13)$$

Mit dem Fehler:

$$\Delta R^{\beta} = \Delta R_{Al}^{\beta} \quad (14)$$

Wir finden:

$$R_{\beta} = (0.886 \pm 0.027) \frac{\text{g}}{\text{cm}^2} \quad (15)$$

Und somit aus der Abbildung 8 des Skriptes:

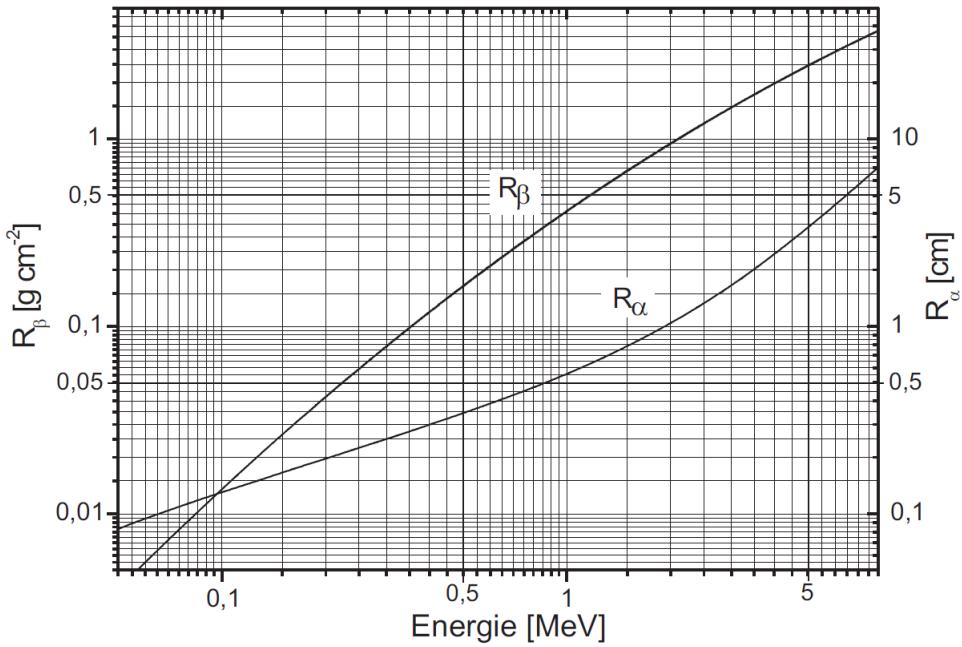


Abbildung 4: Reichweite von β -Strahlung in Aluminium (und α -Strahlung in Luft)⁴

$$E_{Max} = (1.9 \pm 0.2) \text{ MeV} \quad (16)$$

Damit ergibt sich eine Abweichung von 1.9σ zum Literaturwert von $E_{lit} = 2.274 \text{ MeV}$.

5.3 Absorption von γ -Strahlung in Blei

Wir erstellen nun ein halblogarithmisches Diagramm, in welchem wir die Anzahl der gemessenen Zerfälle gegen die Absorberdicke auftragen, wobei wir nach der neuen, einminütigen Nullmessung, korrigieren.

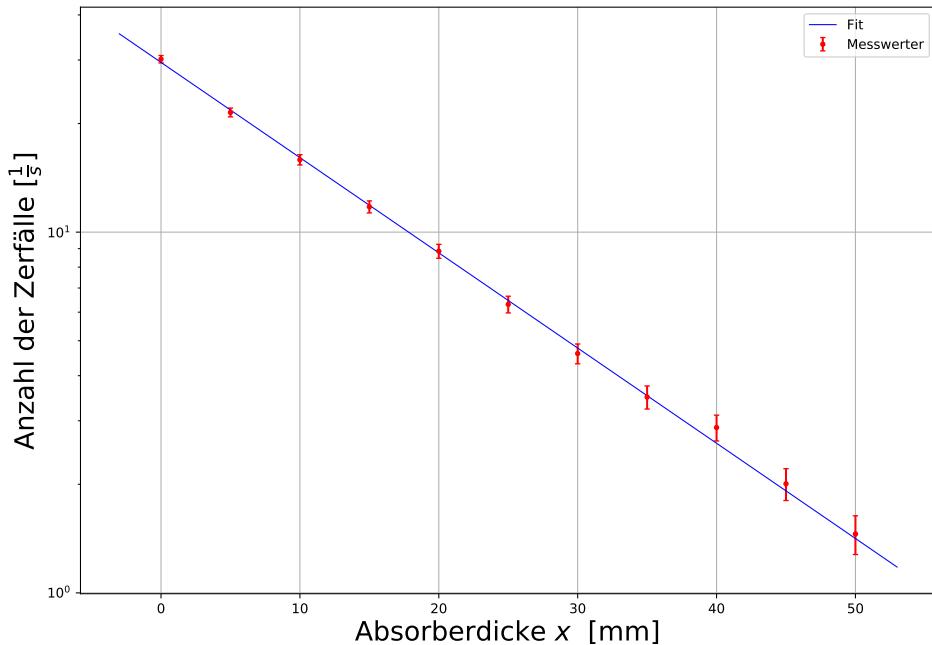


Diagramm 2: Absorption von γ -Strahlung in Blei

In diesem Diagramm 2 ist bereits eine Ausgleichsgerade gefittet, von welcher wir nun den Schwächungskoeffizienten bestimmen können. Um dieses vorgehen zu validieren lassen wir uns die Fittwahrscheinlichkeit ausgeben, welche mit 94.0% den Fit bestätigt. Wir erhalten:

$$\mu_{pb} = (0.607 \pm 0,007) \frac{1}{cm} \quad (17)$$

Über die dichte von Blei ($\rho_{pb} = 11.34 \frac{g}{cm^3}$) können wir nun den Massenschwächungskoeffizienten

$$u = \frac{\mu_{pb}}{\rho_p b} \quad (18)$$

berechnen, wobei sich der Fehler unter der vereinfachten Annahme der Fehlerlosen Bleidichte ergibt:

$$u = \frac{\Delta \mu_{pb}}{\rho_p b} \quad (19)$$

Wir erhalten also:

$$u = (0.0535 \pm 0.0006) \frac{cm^2}{g} \quad (20)$$

Über die 9. Abbildung der Praktikumsanleitung können wir nun die Energie der γ -quanten bestimmen.

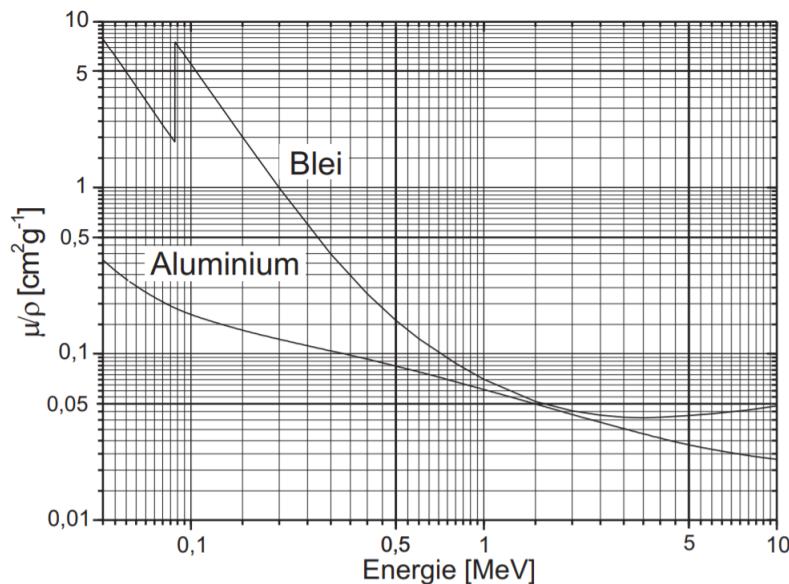


Abbildung 4: Schwächungskoeffizient von -Strahlung in Blei und Aluminium⁵

Wir finden:

$$E_\gamma = (0.9 \pm 0.1) MeV \quad (21)$$

wobei der relativ große Fehler der schlechten ablesegenauigkeit entspringt.

Mit dem Literaturwert von $E_{\gamma lit} = 1.333$ MeV erhalten wir eine Abweichung von rund 4.5σ .

5.4 Bestimmung der Aktivität des γ -Strahlers

Die Aktivität A beschreibt die Zerfälle pro Sekunde. Wir haben die Detektion jedoch nur unter dem Raumwinkel $\Omega = \frac{\pi r^2}{d^2}$ vermessen, wobei d der Abstand und r der Zählrohrradius ist.
Die Allgemeine Aktivität ist daher:

$$A = \frac{4\pi n}{\epsilon\Omega} = \frac{4nd^2}{\epsilon r^2} \quad (22)$$

Wobei $\epsilon = 0,04$ die Ansprechwahrscheinlichkeit des Zählrohrs und n die Anzahl der Zerfälle pro Sekunde entspricht. Wir erhalten einen Fehler unter der Annahme, dass nur die Anzahl der detektierten zerfälle fehlerbehaftet ist, von

$$\Delta A = \frac{4\Delta nd^2}{\epsilon r^2} \quad (23)$$

Der Zählrohrradius ist mit 0,007 m angegeben.

erhalten die Aktivitäten:

Abstand [cm]	Aktivität [$\frac{1}{s}$]
5,0	1110 ± 180
10,0	1190 ± 100
20,0	1300 ± 60

Tabelle 6: Berechnete Aktivität des γ -Strahlers

Die erwartete Aktivität lässt sich aus den Herstellerangaben wie folgt berechnen:

$$A_{theo} = \frac{A_0^{\frac{t}{T_{1/2}}}}{2} \quad (24)$$

Mit den großen Startaktivität $A_0 = 3700kBq$, einer Halbwertszeit von 5.27 Jahren und dem Herstellungsdatum 02.02.2015 erhalten wir:

$$A_{lit} = 1518kBq \quad (25)$$

Dies führt uns je nach Abstand zu folgenden Abweichungen:

Abstand [cm]	Abweichung [σ]
5,0	2.5
10,0	3.5
20,0	4

Tabelle 7: Abweichungen zur Theoretischen Aktivität des γ -Strahlers, aufgerundet um 0.5

5.4.1 Winkelkorrektur

In der bisherigen Berechnung haben wir mit vereinfachten geometrischen Überlegungen gearbeitet. Um genauere Ergebnisse zu erhalten möchten wir nun den Raumwinkel genauer betrachten und erhalten für die korrigierte Aktivität:

$$A_{kor} = \frac{4n(d + \frac{l}{2})^2}{\epsilon r^2} \quad (26)$$

$$\Delta A_{kor} = \frac{4\Delta n(d + \frac{l}{2})^2}{\epsilon r^2} \quad (27)$$

wobei wir erneut angenommen haben, der Fehler würde nur in den gemessenen Zerfällen liegen.

Wir erhalten:

Abstand [cm]	(winkel)Korrigierte Aktivität [$\frac{1}{s}$]	Abweichung [σ]
5,0	$2180 \pm 400 \pm 240$	2
10,0	1710 ± 140	1.5
20,0	1573 ± 80	1

Tabelle 8: Winkelkorrigierte Aktivität des γ -Strahlers und Abweichung

5.4.2 Absorptionskorrektur

Als weitere Korrektur möchten wir die Absorption in der Präperatkapsel berücksichtigen. Hierfür gilt:

$$A_a = A_{off} e^{-\mu_a x} \quad (28)$$

Der Schwächungskoeffizient in Blei ergibt sich zu:

$$\mu_a = \frac{m u_{pb}}{\rho_{pb}} \rho_a \quad (29)$$

Wir erhalten so die korrigierte Formel der Aktivität und ihres Fehlers zu:

$$A_k = \frac{2n(d + \frac{l}{2})^2}{\epsilon r^2} e^{\mu_a x} \quad (30)$$

$$\Delta A_k = \frac{2\Delta n(d + \frac{l}{2})^2}{\epsilon r^2} e^{\mu_a x} \quad (31)$$

Mit fortlaufenden Fehlerannahmen.

Somit können wir nun die, nach Winkel und Absorption korrigierte Aktivität angeben:

Abstand [cm]	Korrigierte Aktivität [$\frac{1}{s}$]	Abweichung [σ]
5,0	2310 ± 340	2
10,0	1820 ± 150	2
20,0	1670 ± 80	2

Tabelle 9: Korrigierte Aktivität des γ -Strahlers und Abweichung

5.5 Absorptionsmessung und Energiebestimmung von α -Strahlung

Wir plotten nun die Zählrate gegen den Luftdruck, um die Reichweite in Luft zu bestimmen.

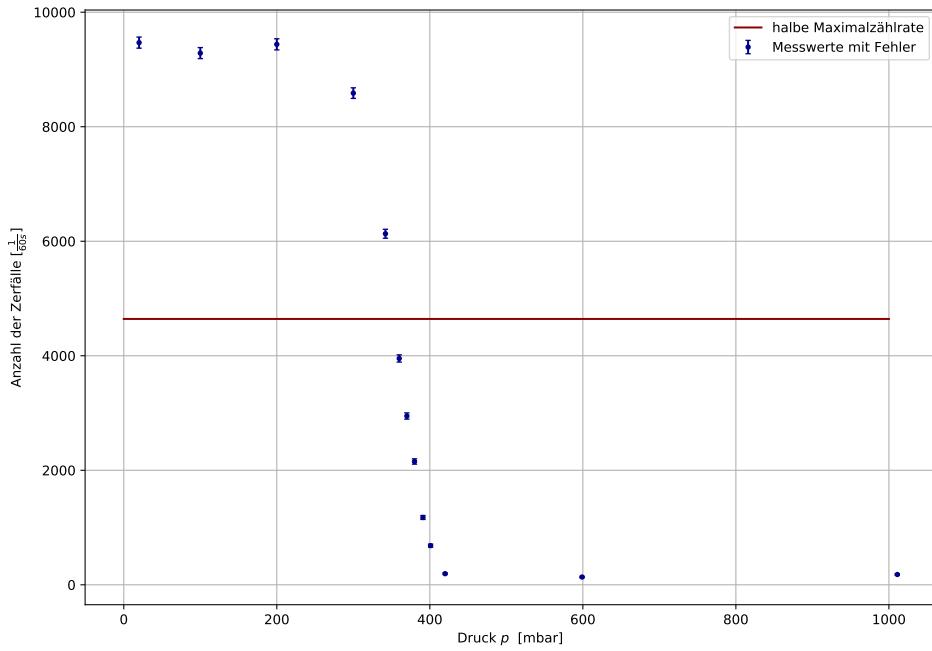


Diagramm 3: Absorption von α -Strahlung in Luft

Der Halbwertsdruck ergibt sich zu $p_{1/2} = 375 \pm 15$ mbar

Die Reichweite ergibt sich mit dem Normaldruck p_0 von 1013 mbar und dem Abstand s_0 von 4.5 cm zu

$$s_1 = \frac{p_1}{p_0 s_0} \quad (32)$$

$$\Delta s_1 = \frac{p_1}{p_0 s_0} \quad (33)$$

$$s_1 = (1.67 \pm 0.06) \quad (34)$$

Wir korrigieren das Ergebnis aufgrund der Absorption des Zählrohrfensters für welches gilt:

$$s_2 = \frac{\rho_{Fenster}}{1.43 \frac{mg}{cm^2}} \quad (35)$$

und zusätzlich für die Goldschutzschicht:

$$s_3 = 0.68 \quad (36)$$

Wir erhalten eine Gesamtreichweite von:

$$s = s_1 + s_2 + s_3 \quad (37)$$

$$\Delta s = \Delta s_1 \quad (38)$$

$$s = (3.92 \pm 0.07) cm \quad (39)$$

Wir verwenden abschließend erneut Abbildung 8 der Praktikumsanleitung, um die Energie der α -Strahlung abzulesen.

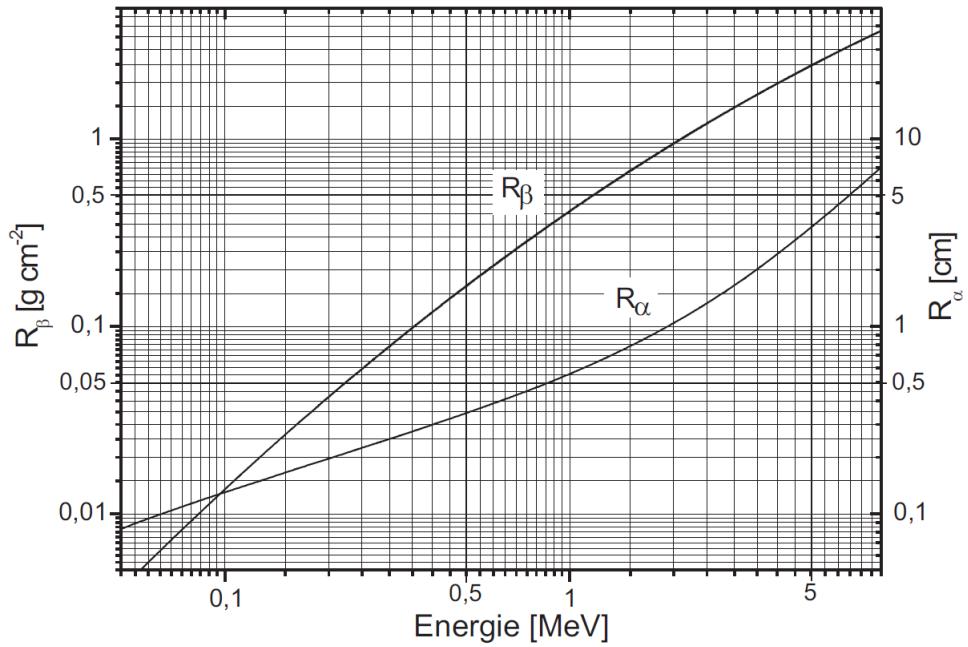


Abbildung 5: Reichweite von β -Strahlung in Aluminium und α -Strahlung in Luft.⁶

$$E_\alpha = (5.5 \pm 0.2) \text{ MeV} \quad (40)$$

Über den Literaturwert von $E_\alpha = 5.48 \text{ MeV}$ erhalten wir eine Abweichung von 0.5σ

6 Zusammenfassung und Diskussion

6.1 Nulleffekt

Zu Beginn des Versuchs maßen wir fünf Minuten lang den Nulleffekt. Diese Messung verlief problemlos.

6.2 Absorption von β -Strahlung in Aluminium

Anschließend wurde ein β -Strahler vor dem Ziel oder positioniert, um die Zählrate zu bestimmen. Mit zunehmender Anzahl an Aluminiumplatten zwischen Zählrohr und Strahlungsquelle setzte sich die Zählrate herab, bis sie um den Nulleffekt lag. Hier raus konnten wir die maximale Reichweite und Flächendichte bestimmen. Anschließend konnten wir die Maximalenergie der Teilchen aus der Abbildung 4 ablesen. Wir erhielten:

$$x_{max} = (2.8 \pm 0.1) \text{ mm} \quad (41)$$

$$R_\beta = (0.886 \pm 0.027) \frac{\text{g}}{\text{cm}^2} \quad (42)$$

$$E_{Max} = (1.9 \pm 0.2) \text{ MeV} \quad (43)$$

Mit dem Literaturwert von $E_{lit} = 2.274 \text{ MeV}$ konnten wir an dieser Stelle erstmals unsere bestimmten Größen mit der Theorie vergleichen. Die berechnete Abweichung von 1.9σ ist zufriedenstellend, so bestätigt sie die Theorie beziehungsweise zeigt, dass keine groben Fehler geschehen sind, und die Messung gut durchgeführt worden ist. Jedoch ist die Abweichung nicht zu unterschätzen, da der Literaturwert nur mühsam aus der Praktikumsanleitung abgelesen werden musste, und daher ein großer Fehler angesetzt worden ist. Hätten wir die Kurve als Formel zur Verfügung gestellt bekommen, wäre eine Analyse wesentlich genauer möglich gewesen.

6.3 Absorption von γ -Strahlung in Blei

Nun wurde der ein γ -Strahler vor das Zählrohr montiert, und selbiges nicht mehr durch Aluminium, sondern durch Blei abgeschirmt. Diesmal bestimmten wir den Schwächungskoeffizienten μ_{pb} über die Steigung der Ausgleichsgerade in Diagramm 2 und erhielten weiterhin den Massenschwächungskoeffizienten u:

$$\mu_{pb} = (0.607 \pm 0.007) \frac{1}{\text{cm}} \quad (44)$$

$$u = (0.0535 \pm 0.0006) \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \quad (45)$$

Aus der 9. Abbildung des Skriptes bestimmten wir die Maximalenergie und fanden:

$$E_\gamma = (0.9 \pm 0.1) \text{ MeV} \quad (46)$$

Mit dem Literaturwert von $E_{\gamma lit} = 1.333 \text{ MeV}$ erhalten wir eine Abweichung von rund 4.5σ . Dies ist bereits eine bemerkenswert große Sigmaumgebung, besonders, da die Ableseunge nauigkeit mehr als 10% des Wertes entspricht, und somit die Sigmaabweichung kleiner zu erwarten wäre. Trotz dessen bestätigt auch diese Messung unsere theoretischen Annahmen, auf mögliche Fehlerquellen wird im Allgemeinen später erneut eingegangen, da eine Teilversuchsspezifische nicht ausfindig gemacht werden konnte.

6.4 Bestimmung der Aktivität des γ -Strahlers

Bei der Betrachtung der Aktivität des γ -Strahlers wurde als Abschirmmaterial weiterhin Blei verwendet. Zur besseren Übersicht sind hier die Ergebnisse der verschiedenen Korrekturen aufgetragen.

Abstand [cm]	Akt. [$\frac{1}{s}$]	Winkelcorr. Akt. [$\frac{1}{s}$]	korrigierte Akt. [$\frac{1}{s}$]	Theo. Akt [$\frac{1}{s}$]
5,0	1110 ± 180 (2.5)	2180 ± 400 (2)	2310 ± 340 (2)	1518
10,0	1190 ± 100 (3.5)	1710 ± 140 (1.5)	1820 ± 150 (2)	
20,0	1300 ± 60 (4)	1573 ± 80 (1)	1670 ± 80 (2)	

Tabelle 10: Zusammenfassung der Aktivitäten des γ -Strahlers

Wir können festhalten, dass unser Versuch erfolgreich war, da wir die Aktivität des Strahlers in guter Näherung zum theoretischen Wert ermittelt haben. Nach der Winkelkorrektur bewegen wir uns in allen Abständen im 2-sigma Bereich, bei größeren Abständen sogar im 1,5 bzw. ein Sigma Bereich. Dies ist einleuchtend, da ein etwaiger Fehler aufgrund einer Fehlausrichtung der Probe bzw. des Zählrohrs sich mit größerem Abstand negiert. Die Richtung der Korrektur ist weiterhin korrekt, da mit den Korrektionsfaktoren von 1.96, 1.44, und 1.21. Die Aktivität nach oben korrigiert wird. Dies ist sinnvoll, da wir die Winkelkorrektur verwenden, um Strahlen auszugleichen, welche aufgrund des geometrischen Aufbaus nicht detektiert werden. Sollte die theoretisch bestimmte Aktivität korrekt sein, lässt sich mutmaßen, dass die Winkelkorrektur zu stark gewählt wurde. Etwaige Randeffekte wie Reflexion könnten dazu führen, dass trotz des Winkels Strahlen detektiert werden. Jene würden in diesem Fall sowohl detektiert, als auch ausgeglichen werden, was zu einer zu hoch bestimmten Aktivität führen würde.

Die Korrektur mit weniger Einfluss ist die Absorptionskorrektur, welche mit einem Faktor von $k_2 = 1.0611 \pm 0.0006$ bestimmt wurde. Zwar könnte man meinen, dass diese zweite Korrektur das Ergebnis weiter verfälscht und somit falsch angesetzt wurde, doch halten wir dies für sehr unwahrscheinlich. So ist der Grund für diese Korrektur wesentlich einfacher, schlicht die Absorption der verbauten Präparatkapsel. Auch der Fehler dieser Korrektur ist sehr gering angegeben. Weiterhin sehen wir das auch dieser Korrekturfaktoren größer als 1 ist, den Zweck nicht detektierte Photonen auszugleichen also gerecht wird.

Insgesamt wirft dieser Versuchsteil also noch ein paar Fragen, besonders bezüglich der Korrekturen auf, bestätigt im Allgemeinen jedoch die Theorie und ist ein zufriedenstellendes Ergebnis.

6.5 Absorptionsmessung und Energiebestimmung von α -Strahlung

Im letzten Versuchsteil wurde mit einem teilweise evakuierten Glasrohr, in welchem ein Alphastrahler eingebaut war, die Vermessung des Alphastrahler durchgeführt. Jeden dressierten uns sowohl für das Absorptionsverhalten als auch für die maximale Energie. Auch hier führten wir zwei Korrekturen durch, einmal aufgrund der Absorption des Fensters und weiterhin für die Goldschutzschicht. Letztendlich erhielten wir eine Gesamtreichweite von:

$$s = (3.92 \pm 0.07) \text{ cm} \quad (47)$$

Was uns über die 8. Abholung der Praktikumsanleitung zur Energie von:

$$E_\alpha = (5.5 \pm 0.2) \text{ MeV} \quad (48)$$

führte. Über den Literaturwert erhielten wir eine Abweichung von gerade einmal 0,5 Sigma. Somit scheint die Theorie bestätigt, und der Versuch gut durchgeführt geworden zu sein. Ein Grund für das sehr gute Ergebnis könnte sein, dass wir mehr Messpunkte als unbedingt nötig festgehalten hatten. Eine weitere Verbesserung des Ergebnisses könnte man erzielen, indem eine tatsächliche mathematische Ausgleichsgerade gezogen werden würde, und so das Ablesen entfallen würde. Aufgrund des sehr guten Ergebnisses sparen wir uns diese Verbesserung.

Abschließend lässt sich als unterschätzt allgemeine Fehlerquellen lediglich die Ausrichtung des Zählrohrs nennen. So sehen wir besonders bei der Bestimmung der Aktivität des gammastrahl aus, dass wir mit größerem Abstand genauere Messergebnisse vorfinden.

Letztendlich bleibt der Versuch positiv in Erinnerung, da die Durchführung straightforward und vollkommen nachvollziehbar war. Lediglich bei der Auswertung kam es zu größeren Problemen aufgrund diverser Vorzeichenfehler, besonders bei den Korrekturen.

7 Abbildungsverzeichnis

^{1,2,3} [Physikalisches Praktikum PAP 2 für Studierende der Physik, Ausgabe 04_2007,Seite 77/78](#)

^{4,5} Nach: E. Storm, H.I. Israel, Photon Cross Section from 1 keV to 100 MeV for elemnts Z=1 to 100, NUCLEAR DATE TABLES A7, 565-681 (1970) bzw. [Physikalisches Praktikum PAP 2 für Studierende der Physik, Ausgabe 04_2007,Seite 83/84](#)

8 Anhang: Jupyter-Notebook

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

Pakete

```
In [1]: import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit
from scipy.stats import chi2
import matplotlib.pyplot as plt
plt.style.use('default')
plt.rcParams["figure.figsize"][0] = 10
plt.rcParams["figure.figsize"][1] = 7
plt.rcParams['errorbar.capsize']=2
```

1. Messung des Nulleffekts

```
In [2]: #Spannung in V
U1=540
U1_err=10

#Zerfälle in 5 Minuten
n0=118
n0_err=np.sqrt(n0)
#Zerfälle pro Sekunde
n0_s=n0/300
n0_s_err=n0_err/300
```

2. Absorption von β -Strahlung in Aluminium

```
In [3]: #Anzahl der Zerfälle
n_beta=np.array([1349, 706, 588, 353, 342, 216, 146, 74, 135, 103, 66, 148])
n_beta_err=np.sqrt(n_beta)

#Messzeit
T=np.array([30, 30, 30, 30, 30, 30, 30, 120, 120, 120, 300])

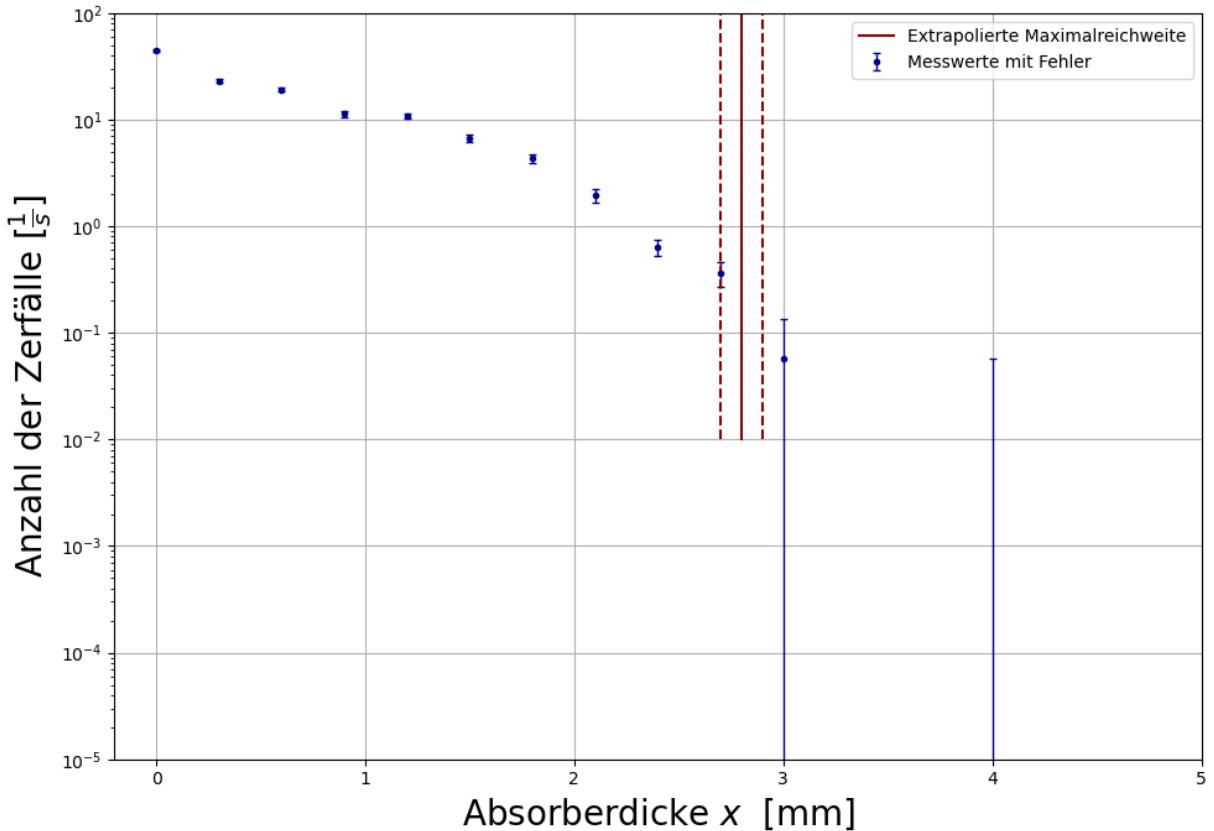
#Dicke in mm
x1=np.array([0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.1, 2.4, 2.7, 3, 4])

#Bestimmung von n0_beta in Zerfälle/s
n0_beta=n_beta[11]/T[11]
n0_beta_err=n_beta_err[11]/T[11]

#abzug der Nullmessung
n_beta_korr=n_beta/T-n0_beta
n_beta_korr_err=np.sqrt((n_beta_err/T)**2+n0_beta_err**2)
```

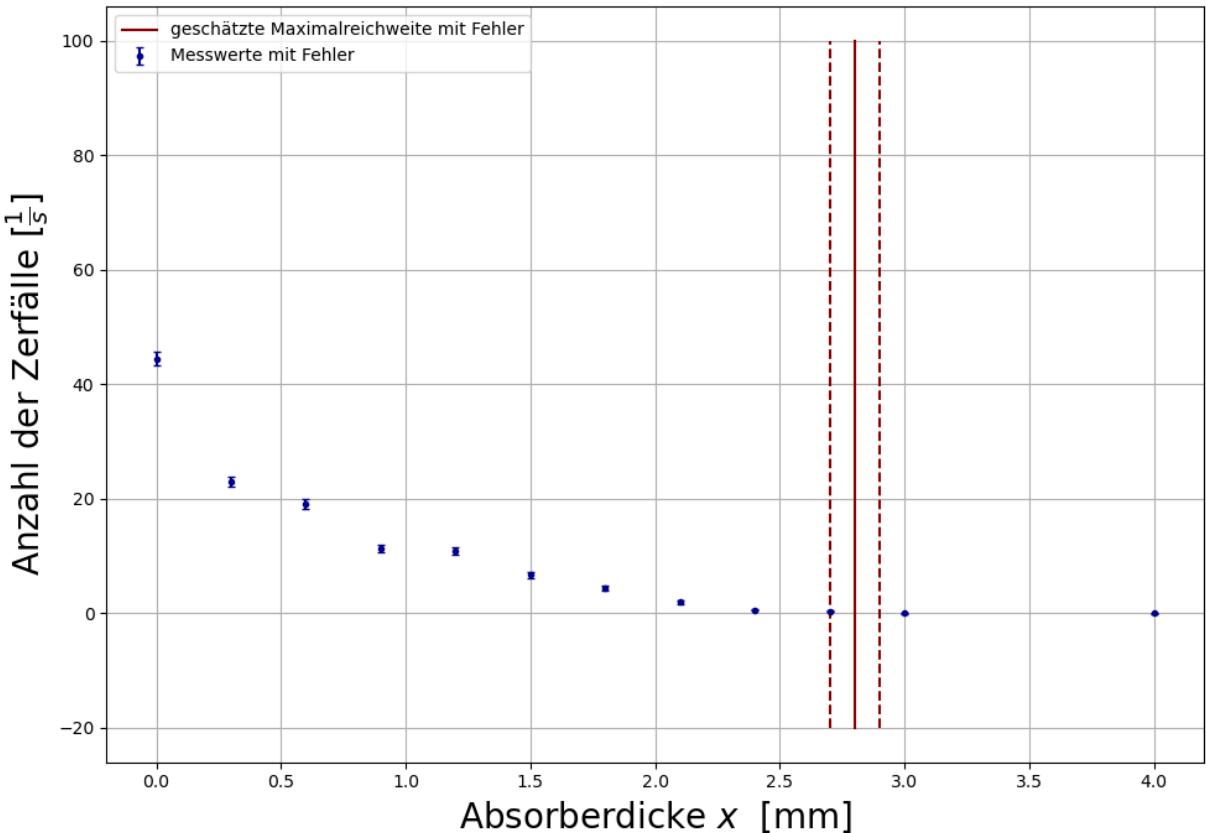
```
In [4]: #Plotten
plt.errorbar(x1,n_beta_korr, yerr=n_beta_korr_err, linewidth=1, linestyle=' ', marker='.')
plt.plot(2*[2.8],[1e-2,1e2],color='darkred',label='Extrapolierte Maximalreichweite')
plt.plot(2*[2.7],[1e-2,1e2],color='darkred',linestyle='--')
plt.plot(2*[2.9],[1e-2,1e2],color='darkred',linestyle='--')
plt.axis([-0.2, 5, 10**-5, 10**2])
plt.xlabel(r'Absorberdicke $ x $ [mm]', size=20)
plt.ylabel(r'Anzahl der Zerfälle [$\frac{1}{s}$]', size=20)
plt.yscale('log')
plt.legend(frameon=True, loc='best')
```

```
plt.grid()
plt.tight_layout()
plt.savefig('V253Diagramm1a.pdf', format='PDF')
```



In [5]:

```
#Die Daten werden nochmal nicht Logarithmisch geplottet, da manche Werte negativ wären und man so besser erkennt, wo die Maximalreichweite ist.
plt.errorbar(x1,n_beta_korr,yerr=n_beta_korr_err,color='darkblue',linestyle='',marker='square')
plt.plot(2*[2.8],[-20,1e2],color='darkred',label='geschätzte Maximalreichweite mit F')
plt.plot(2*[2.7],[-20,1e2],color='darkred',linestyle='--')
plt.plot(2*[2.9],[-20,1e2],color='darkred',linestyle='--')
plt.xlabel(r'Absorberdicke $ x $ [mm]', size=20)
plt.ylabel(r'Anzahl der Zerfälle [$\frac{1}{s}$]', size=20)
plt.legend(frameon=True)
plt.grid()
plt.tight_layout()
plt.savefig('V253Diagramm1b.pdf', format='PDF')
```



```
In [6]: #Reichweite welche aus Plots abgelesen wurde in cm
x_max=0.28
x_max_err=0.01

r_alu=2.6986 #in g/cm^3
r_beta_ES= 0.130 #in g/cm^2

#Flächendichte r_beta
R_beta=r_alu*x_max+r_beta_ES
R_beta_err=r_alu*x_max_err

print('Flächendichte:')
print('R_beta = (' ,R_beta, ' +/- ',R_beta_err, ') g/cm^2')

#Aus Abbildung 8 des Skriptes:
E_max=1.9
E_max_err=0.2
print('Maximalenergie:')
print(' E_max = (' ,E_max, ' +/- ',E_max_err, ') MeV')

#Verleich mit dem Literaturwert welcher aus dem Skiprt hervor geht:
E_max_lit=2.274 #in MeV

abw=np.abs(E_max-E_max_lit)
abw_err=E_max_err

sigma=abw/abw_err

print('Damit ergibt sich eine Sigma Abweichung von: Sigma =',round(sigma,2))
```

Flächendichte:
 $R_{\text{beta}} = (0.8856080000000001 \pm 0.026986) \text{ g/cm}^2$
 Maximalenergie:
 $E_{\text{max}} = (1.9 \pm 0.2) \text{ MeV}$
 Damit ergibt sich eine Sigma Abweichung von: Sigma = 1.87

3. Absorption von γ -Strahlung in Blei

In [7]:

```
#Anzahl Zerfälle
n_gamma=np.array([1833,1312,976,729,555,402,300,233,196,144,111])
n_gamma_err=np.sqrt(n_gamma)

#Absorberdicke
x2=10*np.array([0,0.5,1.0,1.5,2.0,2.5,3.0,3.5,4.0,4.5,5.0])

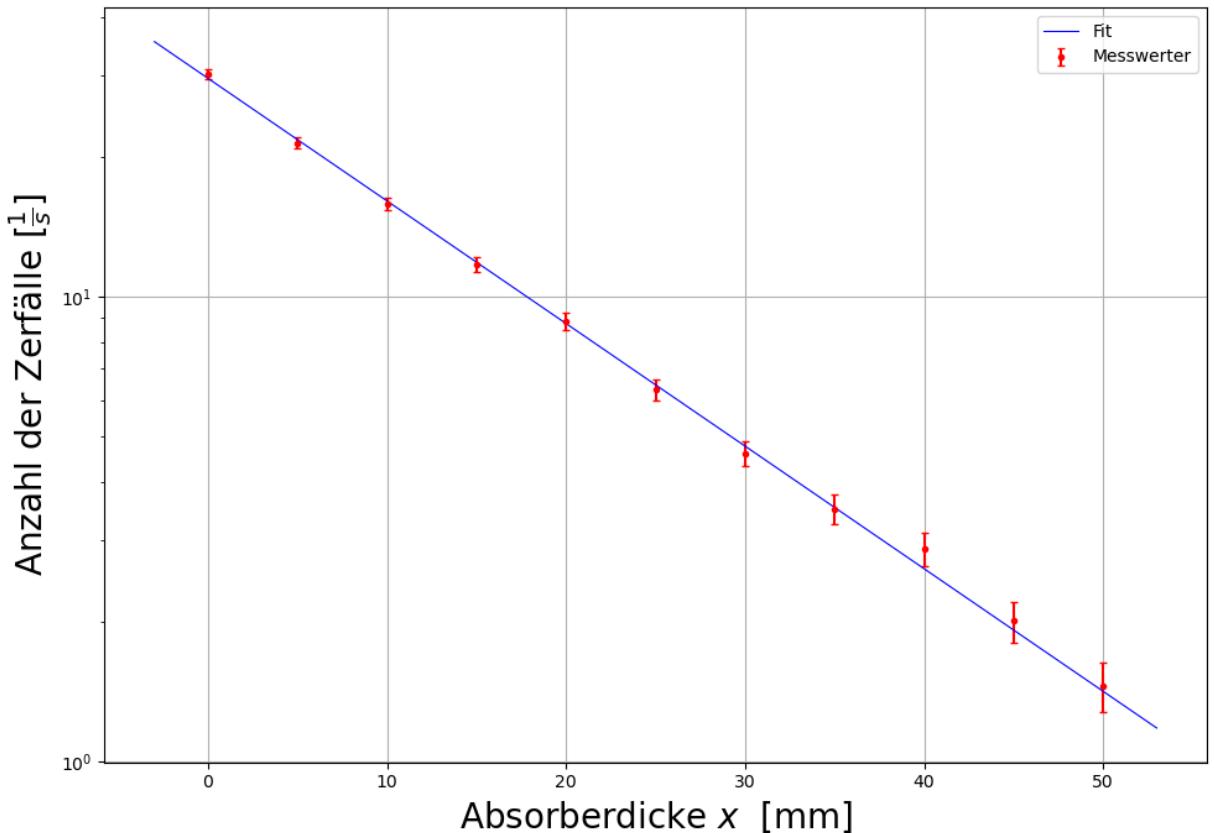
#Abzug der Nullmessung mit Torzeit von 60s
n_gamma_korr=1/60*(n_gamma-(n0_s*60)*np.ones(11)) #in Zerfälle/s
n_gamma_korr_err=1/60*np.sqrt(n_gamma_err**2+(60*n0_s_err*np.ones(11))**2)
```

In [8]:

```
def exp_fit(x,a,b):
    return a*np.exp(-b*x)
popt,pcov=curve_fit(exp_fit,x2,n_gamma_korr,sigma=n_gamma_korr_err,p0=[62,0.05])

plt.errorbar(x2,n_gamma_korr, yerr=n_gamma_korr_err,color='red',label='Messwerter',l
plt.plot(np.linspace(-3,53,2),exp_fit(np.linspace(-3,53,2),*popt),color='blue',label
plt.xlabel(r'Absorberdicke $ x $ [mm]', size=20)
plt.ylabel(r'Anzahl der Zerfälle [$\frac{1}{s}$]', size=20)
plt.yscale('log')
plt.legend(frameon=True,loc='best')
plt.grid()

plt.tight_layout()
plt.savefig('V253Diagramm2.pdf', format='PDF')
```



In [9]:

```
chi_squared2=np.sum((exp_fit(x2,*popt)-n_gamma_korr)**2/n_gamma_korr_err**2)
dof2=len(n_gamma_korr)-2
chi_squared2_red=chi_squared2/dof2
prob2=round(1-chi2.cdf(chi_squared2,dof2),2)*100
print('chi_quadrat=',chi_squared2)
print('chi_quadrat_red=',chi_squared2_red)
print('Fitwahrscheinlichkeit=', prob2)
```

```
chi_quadrat= 3.4872107826894774
chi_quadrat_red= 0.38746786474327527
Fitwahrscheinlichkeit= 94.0
```

```
In [10]: mu=10*popt[1] #in 1/cm
mu_err=10*(pcov[1,1])**0.5
print('Schwächungskoeffizient: mu=', mu,'+-',mu_err)

rho_pb=11.342 #in g/cm^3

mu_rho=mu/rho_pb #in cm^2/g
mu_rho_err=mu_rho*(mu_err/mu)
E_gamma_lit = 1.333
E_gamma =0.9
E_gamma_error =0.1

sigma = (E_gamma_lit-E_gamma)/E_gamma_error

print('Massenschwächungskoeffizient mu/rho: mu/rho=', mu_rho,'+-',mu_rho_err,'Sigma:')

Schwächungskoeffizient: mu= 0.6077319241004607 +- 0.006630955322392858
Massenschwächungskoeffizient mu/rho: mu/rho= 0.05358243026807095 +- 0.00058463721763
29446 Sigma: 4.329999999999999
```

4. Aktivität des γ -Strahlers

```
In [11]: #Abstand
d=np.array([0.05,0.10,0.20]) #m
d_err=0.004*np.ones(3)

n=1/60*np.array([26117,6987,1911])
n_err=1/60*np.sqrt(60*n)
#Radius Zählrohr
r=7e-3
#Wahrscheinlichkeit, dass das Zählrohr anspricht
prob= 0.04

#Raumwinkel
Omega=np.pi*r**2/d**2
Omega_err=Omega**2*d_err/d

A=0.5*4*n/prob*d**2/r**2 #Faktor 0.5, da 2 gamma-Quanten pro Zerfall
A_err=A*np.sqrt((n_err/n)**2+(2*d_err/d)**2)

print('Aktivität Gamma Strahler: A=',A*1e-3,'+-',A_err*1e-3,'kBq')
```

Aktivität Gamma Strahler: A= [1110.41666667 1188.26530612 1300.] +- [177.799
48267 96.11827265 59.90286923] kBq

```
In [12]: #Literaturwert am 02.02.2015
A0= 3700 #kBq
#Datum des Versuchs:10.11.2021
del_t= 2473
T12=5.27*365

#Aktivität am Tag des Versuchs
A_lit=A0*np.exp(-np.log(2)*del_t/T12)
print('A_lit=',A_lit,'Bq')

#Vergleiche Literaturwert mit Messwert
abw_A=np.abs(A*1e-3-A_lit)
abw_A_err=A_err*1e-3

sigma= abw_A/abw_A_err
```

```

print('Differenz zu Literaturwerten: dA=',abw_A,'+-',abw_A_err,'kBq')
print('Sigmaabweichung=',sigma)

A_lit= 1517.6946286781042 Bq
Differenz zu Literaturwerten: dA= [407.27796201 329.42932256 217.69462868] +- [177.7
9948267 96.11827265 59.90286923] kBq
Sigmaabweichung= [2.29065887 3.42733295 3.6341269 ]

```

Winkelkorrektur

In [13]:

```

#Länge Zählrohr
l=4e-2 #m

#Korrekturfaktor k1=(1+0.5*l/d)**2
k1=(1+0.5*l/d)**2
k1_err=2*(1+0.5*l/d)*0.5*l/d**2*d_err

print('Korrekturfaktor k1=',k1,'+-',k1_err)
#korrigierte Aktivität
A_korr=A*k1
A_korr_err=A_korr*np.sqrt((A_err/A)**2+(k1_err/k1)**2)

print('Korrigierte Aktivität: A_korr=',A_korr*1e-3,'+-',A_korr_err*1e-3,'kBq')
#Vergleich der Messwerte mit Literaturwert
abw_A_korr=np.abs(A_korr*1e-3-A_lit)
abw_A_korr_err=A_korr_err*1e-3
sigma= abw_A_korr/abw_A_korr_err

print('Differenz zu Literaturwerten: dA=',abw_A_korr,'+-',abw_A_korr_err,'kBq')
print('Sigmaabweichung=',sigma)

```

```

Korrekturfaktor k1= [1.96 1.44 1.21] +- [0.0896 0.0192 0.0044]
Korrigierte Aktivität: A_korr= [2176.41666667 1711.10204082 1573. ] +- [362.4
1151032 140.27802713 72.70782016] kBq
Differenz zu Literaturwerten: dA= [658.72203799 193.40741214 55.30537132] +- [362.4
1151032 140.27802713 72.70782016] kBq
Sigmaabweichung= [1.81760794 1.37874346 0.76065231]

```

Absorptionskorrektur

In [14]:

```

d=0.14 #cm
rho_kapsel=7.9 #g/cm^3
#mu_rho aus vorherigem Aufgabenteil
mu_kapsel=mu_rho*rho_kapsel #1/cm
mu_kapsel_err=mu_kapsel*mu_rho_err/mu_rho

#Korrekturfaktor k2=exp(mu*x)
k2=np.exp(mu_kapsel*d)
k2_err=k2*d*mu_kapsel_err

print('Korrekturfaktor k2=',k2,'+-',k2_err)

#korrigierte Aktivität A_korr2=A_korr*k2
A_korr2=A_korr*k2
A_korr2_err=A_korr2*np.sqrt((A_korr_err/A_korr)**2+(k2_err/k2)**2)
print('Korrigierte Aktivität: A_korr2=',A_korr2*1e-3,'+-',A_korr2_err*1e-3)

abw_A_korr2=np.abs(A_korr2*1e-3-A_lit)
abw_A_korr2_err=A_korr2_err*1e-3
sigma= abw_A_korr2/abw_A_korr2_err

```

```

print('Differenz zu Literaturwerten: dA=',abw_A_korr2,'+-',abw_A_korr2_err,'kBq')
print('Sigmaabweichung=',sigma)

Korrekturfaktor k2= 1.0610533783902387 +- 0.0006860864121617283
Korrigierte Aktivität: A_korr2= [2309.29425695 1815.57060118 1669.03696421] +- [384.
54085654 148.84710423 77.15442646]
Differenz zu Literaturwerten: dA= [791.59962827 297.8759725 151.34233553] +- [384.5
4085654 148.84710423 77.15442646] kBq
Sigmaabweichung= [2.05855793 2.00122115 1.96155091]

```

Ausgabe unabhängig von A_korr (zur Probe)

```

In [15]: A_korrzwei=A*k2
A_korrzwei_err=A_korrzwei*np.sqrt((A_err/A_korr)**2+(k2_err/k2)**2)
print('Korrigierte Aktivität: A_korrzwei=',A_korrzwei*1e-3,'+-',A_korrzwei_err*1e-3)

abw_A_korrzwei=np.abs(A_korrzwei*1e-3-A_lit)
abw_A_korrzwei_err=A_korrzwei_err*1e-3
sigma= abw_A_korrzwei/abw_A_korrzwei_err

print('Differenz zu Literaturwerten: dA=',abw_A_korrzwei,'+-',abw_A_korrzwei_err,'kBq')
print('Sigmaabweichung=',sigma)

Korrigierte Aktivität: A_korrzwei= [1178.21135559 1260.81291749 1379.36939191] +- [9
6.25543422 70.82873224 52.53661431]
Differenz zu Literaturwerten: dA= [339.48327309 256.88171119 138.32523677] +- [96.25
543422 70.82873224 52.53661431] kBq
Sigmaabweichung= [3.52689981 3.62680092 2.63293017]

```

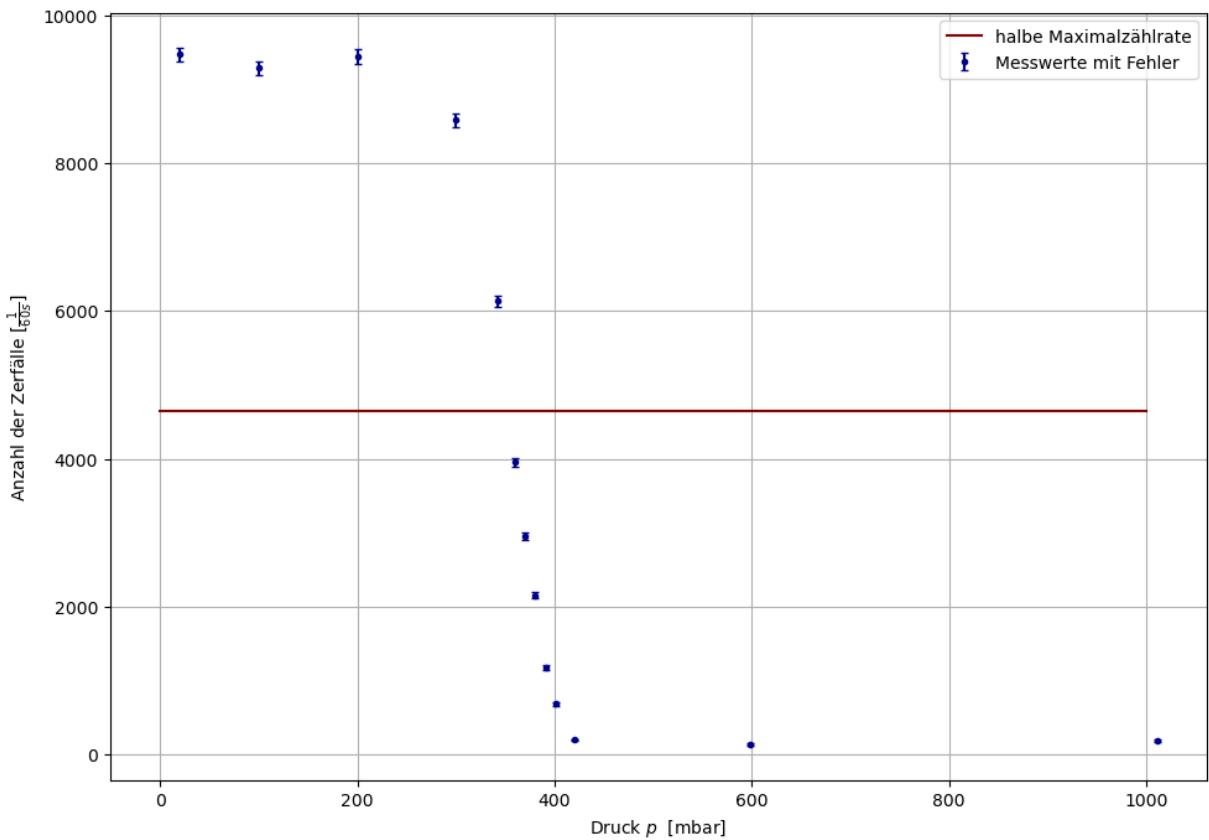
5. Absorptionsmessung und Energiebestimmung α -Strahlung

```

In [16]: n_alpha=np.array([9469,9286,9439,8587,6131,3953,2948,2154,1176,684,194,136,180])
n_alpha_err=np.sqrt(n_alpha)
#Druck [mbar]
p=np.array([20,100,200,300,342,360,370,380,391,401,420,599,1011])

plt.errorbar(p,n_alpha, yerr=n_alpha_err, color='darkblue', label='Messwerte mit Fehl
plt.xlabel(r'Druck $ p $ [mbar]')
plt.ylabel(r'Anzahl der Zerfälle [$\frac{1}{60s}$]')
plt.plot([0,1e3],2*[0.5*n_alpha[1]],color='darkred',label='halbe Maximalzählrate')
plt.legend(frameon=True,loc='best')
plt.grid()
plt.tight_layout()
plt.savefig('V253Diagramm3.pdf', format='PDF')

```



In [17]: #Druck bei dem die Zählrate auf die Hälfte abgefallen ist [mbar]

```
p1= 375
p1_err=15
p0=1013
#Abstand [cm]
s0=4.5
```

```
#Reichweite bei p1
s1=p1/p0*s0
s1_err=s1*np.sqrt((p1_err/p1)**2)
print('Reichweite s_1 = ',s1,'+-',s1_err)
```

Reichweite $s_1 = 1.6658440276406712 \pm 0.06663376110562685$

In [18]: #Korrekturen

```
rho_G1=2.25 #mg/cm^2
s2=rho_G1/1.43 #cm
```

```
#Goldschicht
s3=0.68 #cm
s_ges=s1+s2+s3
s_ges_err=s1_err
```

```
print('Gesamtreichweite s=',s_ges,'+-',s_ges_err)
```

Gesamtreichweite $s = 3.919270601067245 \pm 0.06663376110562685$

In [19]: #Aus Abbildung 8 des Skriptes ergibt sich die Energie [MeV]

```
E_alpha=5.5
E_alpha_err=0.2
```

```
#Vergleich mit Literaturwert
E_alpha_lit=5.48 #MeV
```

```
abw2=np.abs(E_alpha-E_alpha_lit)
abw2_err=E_alpha_err
```

```
sigma= abw2/abw2_err  
print('Differenz zu Literaturwerten: dE=',abw2,'+-',abw2_err,'MeV')  
print('Sigmaabweichung=',sigma)
```

Differenz zu Literaturwerten: dE= 0.0199999999999574 +- 0.2 MeV
Sigmaabweichung= 0.0999999999999787