

St.-Georg-Gymnasium
Adenauerallee 1, 46399 Bocholt

Facharbeit

Thema:

Abschirmung von β - und γ - Strahlung

Name: Nehring

Vorname: Phil

Schuljahr: Q1

Unterrichtsfach: Physik

Kurslehrer: Dr. von Düsterlohe

Abgabetermin: 07.03.2023

Note: _____

Datum: _____

Unterschrift: _____

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	4
1.1. Erläuterung der Fragestellung.....	4
1.2. Erläuterung der Vorgehensweise.....	4
1.3. Abgrenzung.....	5
2. Hauptteil.....	5
2.1. radioaktive Stoffe.....	5
2.2. radioaktiver Zerfall.....	5
2.2.1. α , β Zerfall.....	6
2.2.2. Statistik des radioaktiven Zerfalls.....	8
2.2.3. Zerfallsgesetz.....	8
2.3. Strahlung.....	9
2.3.1. Strahlung allgemein.....	9
2.3.2. Verschiedene radioaktive Strahlungstypen.....	10
2.4. Detektion der Strahlung.....	11
2.4.1. Geiger-Müller Zähler.....	11
2.5. Theorie der Abschirmung.....	13
2.5.1. α – Strahlung.....	13
2.5.2. β – Strahlung.....	14
2.5.2.1. Bremsstrahlung.....	15
2.5.3. γ – Strahlung.....	15
2.5.3.1. Wechselwirkung mit Materie.....	16
2.5.4. Absorptionsgesetz.....	19
2.6. Experiment.....	20
2.6.1. Aufbau.....	20
2.6.2. Durchführung.....	21
2.6.3. Ergebnisse.....	22
2.6.4. Auswertung.....	23
3. Schluss.....	36
3.1. Zusammenfassung der Ergebnisse.....	36
3.2. Beurteilung der Experimentierweise.....	37
3.3. Eigene Beurteilung der Facharbeit.....	38
4. Literaturverzeichnis.....	39

4.1. Internetquellen.....	39
4.2. Buchquellen.....	40
5. Anhang.....	42

1. Einleitung

1.1 Erläuterung der Fragestellung

Diese Facharbeit widmet sich dem Problem der Abschirmung von radioaktiver β - und γ -Strahlung. Ziel ist es ein Experiment auszuwerten, bei der die Fähigkeit zur Abschirmung von radioaktiver Strahlung, bei verschiedenen Materialien und variierender Dicke, gemessen und formelmäßig ausgewertet wird.

Eine solche Kenntnis über die Abschirmung ist aus historischer und zukünftiger Sicht durchaus lohnenswert. Nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl (Чорнобиль) mussten tausende von sowjetischen Liquidatoren ihr Leben lassen, weil sie beim Versiegeln der Reaktorkammer nicht ausreichend vor der Strahlung geschützt waren [1]. Auch in den heutigen Debatten, um die Endlagerstätten für die radioaktiven Überreste eines Kernkraftreaktors, ist es wichtig zu verstehen wie man diese Lagerstätten möglichst gut abschirmen kann.

Die Fragestellung meiner Arbeit soll also sein: Welches Material eignet sich am besten, um radioaktive Strahlung abzuschirmen? Beim Experiment stehen mir Blei, Eisen und Aluminium zur Verfügung.

Ebenfalls von Interesse ist die Frage, ob man Gammastrahlung überhaupt effektiv abschirmen kann und wie sich die γ -Strahlung von der α - und β -Strahlung unterscheidet.

1.2 Erläuterung der Vorgehensweise

Ich werde zu Beginn kurz erläutern was ein radioaktiver Stoff ist und wie er zerfällt, da diese Hintergrundinformationen für ein umfassendes Verständnis der weiteren Ausführungen von Nöten sind.

Zudem ist es wichtig das Prinzip der Strahlungen und der Detektion dieser herauszuarbeiten, sowie die Theorie der Abschirmung von radioaktiver Strahlung, inklusive der Formeln.

Des Weiteren wird ein Experiment durchgeführt, bei dem man die Fähigkeit zur Abschirmung von radioaktiver Strahlung von verschiedenen Materialien, bei variierenden Dicken, misst und formelmäßig auswertet. Dabei soll die Halbwertsdicke der Materialien für die vorhandene Strahlung berechnet werden.

1.3 Abgrenzung

Es wird ausschließlich die natürliche Radioaktivität untersucht. β^+ - Zerfall, welcher durch den gezielten Beschuss von Atomkernen erreicht wird gehört zur künstlichen Radioaktivität [Lautenschlager] und ist in meinem Experiment nicht machbar.

Zur natürlichen Radioaktivität gehören der α -Zerfall, β^- -Zerfall sowie die γ -Strahlung.

2. Hauptteil

2.1 radioaktive Stoffe

Radioaktivität ist die Umwandlung instabiler Kerne, bei der Teilchen emittiert werden [Lautenschlager].

Radioaktive Stoffe sind Atome die, aufgrund der Instabilität ihrer Kerne, Teilchen emittieren und somit Strahlung erzeugen. Stoffe sind instabil, wenn zu viele Neutronen im Kern vorhanden sind oder zu viele Protonen im Kern vorhanden sind. Mithilfe einer Nuklidkarte kann man die Zerfallsart und die Halbwertszeit eines Stoffes herausfinden. Auf einer Nuklidkarte ist eine Stabilitätslinie eingezeichnet. Diese Stabilitätslinie steht für die Stoffe die stabil sind. Wenn ein Stoff also in der Zahl seiner Protonen und Neutronen von dieser Linie abweicht dann ist er instabil und zerfällt radioaktiv. Eine Nuklidkarte liegt im Anhang bei [A1].

Radioaktiven Stoffe können künstlich erzeugt werden. Zum Beispiel im Fall von Hassium, einem Element mit der Ordnungszahl 108 [I2]. Die radioaktiven Stoffe die auf unserer Erde in der Natur vorkommen, entstanden im Laufe der Zeit durch Kernfusionen im Weltall [I3].

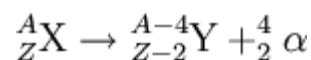
2.2 radioaktiver Zerfall

Radioaktive Stoffe zerfallen, um in einen energetisch besseren Zustand zu gelangen. Dabei unterscheidet man zwischen dem α -Zerfall und dem β -Zerfall.

2.2.1 α , β Zerfall

Beim α -Zerfall, emittiert der Atomkern einen Heliumkern. Das geschieht, weil die Kernkräfte im Atomkern, die Coulombkräfte der Protonen, welche sich aufgrund ihrer Ladung abstoßen, nicht komplett aufheben können [I4]. Das ist so, da Protonen von allen anderen Protonen im Kern abgestoßen werden, aber nur von den nächstgelegenen Neutronen, aufgrund der starken Wechselwirkung, angezogen werden [Lautenschlager], weil die starke Wechselwirkung, oder Kernkraft, nur eine sehr kurze Reichweite von etwa $1,5 \cdot 10^{-15}m$ hat. Damit geht der Atomkern in einen stabileren Zustand über, weil die Coulombkraft zwischen den Protonen abnimmt [I4]. Im Potentialtopfmodell könnte man den α -Zerfall noch mit dem Tunneleffekt und anderen quantenmechanischen Vorgängen erklären, aber das würde hier den Rahmen sprengen. Grob gefasst kann man sagen, dass der Topf mit den Protonen, höher gefüllt ist und zu viele Protonen im Kern vorhanden sind. Um diesen Überschuss loszuwerden zerfällt der Kern.

Eine Gleichung die den α -Zerfall beschreibt lautet [I5]:

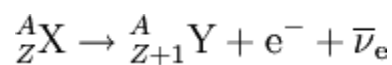


Der Kern X beschreibt den Zustand vor dem Zerfall und der Kern Y den Zustand nach dem Zerfall. Das α -Teilchen ist ein Heliumkern. Heliumkerne haben eine Masse von $6,64 \cdot 10^{-27}kg$ [Grehn].

Beim β -Zerfall ist es ein wenig komplizierter. Im Potentialtopfmodell kann man es sich so vorstellen, als dass der Topf mit den Neutronen höher gefüllt ist als der Topf mit den Protonen. Wie eben schon erwähnt gibt es zwei unterschiedliche Töpfe, weil die beiden Kernteilchen unterschiedliche Ladungen haben. Nun ist dadurch ein Energieniveau im Topf der Protonen unbesetzt, welches unter dem höchsten Energieniveau des Neutronen Topfes liegt. Dadurch ist es energetisch günstiger für den Kern, wenn sich ein Neutron in ein Proton wandelt [I6]. Der Kern zerfällt also um von einem energetisch schlechteren Zustand in einen energetisch besseren Zustand zu gelangen. Ein Neutron zerfällt in ein Proton, ein Elektron und ein Elektron-Antineutrino [I7] [I8]. Dieses Proton hat dann ein niedrigeres Energieniveau und der Kern insgesamt einen energetisch niedrigeren Zustand. Das Elektron sowie das Elektron-Antineutrino werden emittiert und das Elektron ist als β -Strahlung

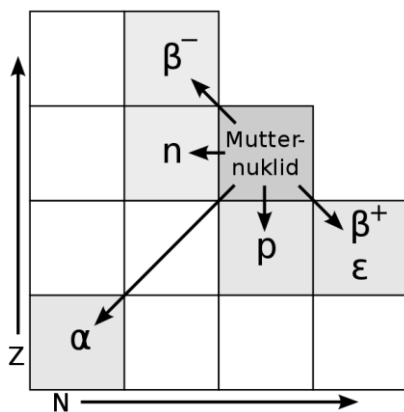
messbar. Die Neutrinos wurden zuerst nicht entdeckt. Es war nur auffällig, dass die Bilanz des Impulses von Elektron und Atomkern nicht stimmte. Als die Neutrinos dann erstmals gemessen wurden, konnte man die Bilanz richten und stellte fest, dass beim β^- -Zerfall ein Elektron-Antineutrino in entgegengesetzter Richtung zum Elektron emittiert wird. Die Neutrinos wurden deshalb erst so spät entdeckt, weil sie fast gar nicht mit ihrer Umgebung wechselwirken. In der Tat tun sie das so wenig, dass man eine 1Lj dicke Bleischicht bräuchte um gerade einmal weniger als die Hälfte der Neutrinos abzuschirmen [I9]. Außerdem besitzen Neutrinos keine Ladung und nur extrem wenig Masse [I10].

Eine Gleichung die den β^- -Zerfall beschreibt lautet [I11]:



X und Y sind wieder die Kerne vor und nach dem Zerfall. Das Elektron ist das e^- und $\bar{\nu}_e$ das Elektron-Antineutrino.

Auf der Nuklidkarte [I12] sehen die Zerfälle so aus:



Beim α -Zerfall verringert sich die Massenzahl ($A = N + Z$), also die Anzahl der Protonen und Neutronen addiert, um vier. Die Kernladungszahl (Z) um zwei, da zwei Protonen weniger vorhanden sind. Beim β^- -Zerfall erhöht sich die Kernladungszahl um eins, weil ein Proton mehr vorhanden ist als vorher. Die Massenzahl bleibt gleich, weil das Neutron, aus Sicht des Kerns, gegen ein Proton, „ausgetauscht“ wurde. Der entstehende Kern ist also ein Isobare des ursprünglichen Kerns. Wenn man eine Zerfallsreihe untersucht, welches ich für das Experiment auch noch tun werde, dann geht man bei den Zerfällen so vor, wie es auf dem Bild zu sehen ist. Für den α -Zerfall, zwei nach unten und zwei nach links. Für den β^- -Zerfall eins nach oben und eins nach links. Die anderen Zerfälle können ignoriert werden.

2.2.2 Statistik des radioaktiven Zerfalls

Die Umwandlung von Kernen erfolgt rein statistisch und wird durch äußere Gegebenheiten, wie die Temperatur, nicht beeinflusst [Lautenschlager]. Das heißt auch, dass die Chance auf einen Zerfall nicht mit der Zeit zunimmt [Finke].

Aufgrund dieser Voraussetzungen lässt sich nun, mithilfe der Gesetze der Statistik und Kombinatorik, eine Standardabweichung der gezählten Zerfälle berechnen. Weil die verwendete Mathematik meine eigenen Fähigkeiten bei Weitem übertreffen, folgt keine Herleitung.

Standardabweichung bei einer Zählung von Zerfällen [Finke]:

$$\sigma = \sqrt{n}$$

Diese Formel wird bei der Auswertung des Experiments wichtig sein, da die Standardabweichung zu berücksichtigen ist. Sie zeigt, dass bei einer höheren Menge an gemessenen Impulsen, der Fehler prozentual weniger wird.

2.2.3 Zerfallsgesetz

Wie im vorherigen Abschnitt erläutert ist der Zerfall von Atomkernen rein statistisch. Daher kann man schlussfolgern, dass die Zerfallsrate $\frac{\Delta N}{\Delta t}$ proportional zur Anzahl der noch zu zerfallenen Kerne N ist.

Aus dieser Proportionalität lässt sich die Gleichung

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda \cdot N$$

aufstellen. Das Minus vor der Konstanten steht dort, weil die Zerfallsrate negativ ist. Um in der Endgleichung, und später in der praktischen Umsetzung, eine positive Konstante zu erhalten die man für λ einsetzt, setzt man das Minuszeichen schon jetzt vor die Konstante.

Weil diese Formel nur die durchschnittliche Änderungsrate für einen Zeitraum t angibt, ersetzt man $\frac{\Delta N}{\Delta t}$ mit $\frac{dN}{dt}$ um die momentane Änderungsrate zu erhalten.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N$$

Wenn man diese Formel umstellt dann erhält man:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda \cdot dt$$

Diese Gleichung kann man jetzt integrieren:

$$\int_0^N \frac{dN}{N} = -\lambda \cdot \int_0^t dt$$

Und weiter umstellen:

$$\ln(N) = -\lambda \cdot t$$

Und weiter umstellen:

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

Diese Gleichung ist bekannt als das Zerfallsgesetz [Grehn] und mit ihr kann man die Menge an Teilchen die nach einer Zeit t voraussichtlich noch da sein wird berechnen. Mithilfe der Formel kann man außerdem die Halbwertszeit t_H berechnen.

Dazu setzt man $N(t) = \frac{1}{2} N_0$ und stellt nach t um.

Daraus folgt für die Halbwertszeit t_H :

$$t_H = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

2.3 Strahlung

2.3.1 Strahlung allgemein

Die Strahlung wird in der Physik definiert, als Teilchen oder Wellen, die sich von einer Quelle aus ausbreiten. Sie wird also relativ breit gefasst. Radioaktive Strahlung ist laut der Definition also die Emission von Teilchen von einer radioaktiven Quelle. Radioaktive Strahlung hat die Eigenschaft Atome zu ionisieren, egal in welchem Aggregatzustand sie sind. Außerdem löst sie Lichtemissionen aus, wenn sie auf bestimmte Körper trifft und sie färbt Fotoplatten schwarz [Lautenschlager].

2.3.2 verschiedene Radioaktive Strahlungstypen

Die α -Strahlung und die β^- -Strahlung sind analog zu den Zerfallsgleichungen. α -Strahlung besteht aus Helium Kernen und β^- -Strahlung aus Elektronen.

Außerdem ist es so, dass der zerfallene Atomkern oft noch energetisch angeregt ist [II13]. Dieser Überschuss an Energie wird dann in Form von γ -Strahlung freigesetzt. Diese γ -Strahlung ist nicht von herkömmlicher Röntgenstrahlung zu unterscheiden. Nur die Herkunft ist eine Andere. γ -Strahlung ist eine elektromagnetische Strahlung. Sie hat eine Wellenlänge von $10^{-10}m$ bis $10^{-13}m$ und eine Energie von $0,01MeV$ bis $10MeV$ und besitzt Lichtgeschwindigkeit [Grehn].

Die Eigenschaften radioaktiver Strahlungen sind in vielen Hinsichten ähnlich, jedoch sind sie unterschiedlich stark ausgeprägt. Es gibt aber auch klare Unterschiede.

Alle Arten von radioaktiver Strahlung besitzen ein Ionisationsvermögen [Lautenschlager]. In Luft mit Atmosphärendruck erzeugt α -Strahlung, der Energie $1MeV$, 10^4 einwertige Ionenpaare [Lautenschlager]. β^- -Strahlung erzeugt unter gleichen Bedingungen 10^2 Ionenpaare und γ -Strahlung erzeugt 1 Ionenpaar [Lautenschlager].

Auch in ihrer Ladung unterscheiden sich die Strahlungstypen voneinander. α -Strahlung ist zweifach positiv geladen. Heliumkerne bestehen schließlich aus zwei Neutronen und zwei Protonen. β^- -Strahlung ist logischerweise einfach negativ geladen. γ -Strahlung besitzt keine Ladung. Aufgrund dieser Eigenschaft lässt sich die vorhandene Strahlung eines unbekannten radioaktiven Stoffes bestimmen, indem man ihn mit einem Geschwindigkeitsfilter und einem Magnetfeld ablenkt [Lautenschlager].

Auf die Fähigkeit Materie zu durchdringen werde ich im Abschnitt Detektion der Strahlung und Theorie der Abschirmung eingehen.

Heutzutage wird radioaktive Strahlung auch in praktischen Anwendungen eingesetzt. Es gibt zum Beispiel Ionisationsrauchmelder, in denen die Fähigkeit zur Ionisation von α -Strahlung eingesetzt wird. Dabei gibt es zwei geladenen Platten zwischen denen die Strahlung die Luft ionisiert und ein Stromfluss entsteht. Wenn bei einem Brand Rauch zwischen diese Platten gelangt, dann wird der Stromfluss gehemmt und der Alarm wird ausgelöst [Lautenschlager]. γ -Strahlung wird zum Beispiel eingesetzt, um Werkstoffe auf ihre Dicke zu untersuchen und

Qualitätskontrollen durchzuführen [Lautenschlager]. In der Raumfahrt wird häufig die Radionuklidbatterie verwendet, wenn man sich nicht an der Sonnenstrahlung bedienen kann. Dabei wird die entstehende Wärmeenergie in elektrische Energie umgewandelt [Lautenschlager].

2.4 Detektion der Strahlung

Es gibt verschiedene Möglichkeiten um radioaktive Strahlung zu detektieren. Allerdings beruhen fast alle auf denselben Eigenschaften der radioaktiven Strahlung. Diese wurden im Teil 2.3.1 Strahlung allgemein genannt. Außerdem ist es möglich die Strahlung durch einen Test ihrer Abschirmung zu identifizieren. α -Strahlung wird schon durch ein Blatt Papier fast vollständig absorbiert. β -Strahlung wird durch eine 1mm dicke Bleiplatte fast vollständig absorbiert und γ -Strahlung wird erst mit einer 5cm dicken Bleischicht absorbiert [Lautenschlager]. Allerdings besteht danach noch die Schwierigkeit diese Strahlung zu unterscheiden. Denn γ -Strahlung wird auch bei α - und β -Zerfällen emittiert. Um nur durch die Abschirmung zu unterscheiden, muss man entweder einen Graphen erstellen und zu seinen Messreihen eine Ausgleichskurve erstellen oder die Strahlung durch ein Magnetfeld so ablenken, dass die γ -Strahlung nicht mehr aufgenommen wird, weil sie nicht abgelenkt wird.

2.4.1 Geiger-Müller Zähler

Der Geiger-Müller Zähler wurde Anfang des 20. Jahrhunderts von Hans Geiger und Walther Müller an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel erfunden. Es ist ein Gerät, welches ionisierende Strahlung messen kann [I14].

Ein Geiger-Müller Zähler besteht aus einem Zylinder, welcher aus einem leitenden Material gefertigt ist und oben und unten verschlossen ist. In diesem Zylinder verläuft radial ein Draht vom unteren Boden. Dieser Draht wird nicht bis zur „Decke“ weitergeführt, sondern endet im oberen Viertel des Zylinders. Zudem ist der Zylinder noch mit einem Gas, meist Argon, und anderen organischen Dämpfen gefüllt. Die „Decke“ des Zylinders, also die Seite an der die radioaktiven Teilchen einfallen sollen, besteht aus einem Glimmerfenster. An den

Zylinder und den Draht ist eine Spannungsquelle mit einem hoch Ohm'schen Widerstand angeschlossen. Der Zylinder dient als Kathode und der Draht als Anode, sodass die elektrischen Feldlinien des entstehenden Feldes radial vom Draht zum Zylinder verlaufen. Eine selbstgefertigte Beispielskizze liegt im Anhang bei [A2]. Wenn nun ein radioaktives Teilchen in den Zylinder einfällt, dann kann es dort das Argongas ionisieren. Das positiv geladene Argonatom wandert, aufgrund der Coulombkraft, zum Kathodenzyylinder und nimmt dort ein Elektron auf. Das freie Elektron wandert zum Draht und es entsteht ein Stromfluss. Diesen Strom kann man messen und es gilt $I \sim \text{Anzahl der Ionisationsakte}$. Wenn man diesen Aufbau an ein Zählgerät anschließt dann können die Ionisationsakte gezählt werden. Wichtig dabei ist, dass nicht zwischen den Strahlungsarten unterschieden werden kann und es passieren kann, dass ein Elektron und ein Argon^+ Ion rekombinieren. Die Wahrscheinlichkeit dafür heißt Rekombinationswahrscheinlichkeit und sie nimmt ab je höher die anliegende Spannung und die damit verbundene Coulombkraft ist. Wenn die Betriebsspannung bei ca. 300V überschritten wird, dann liegt die Rekombinationswahrscheinlichkeit bei fast 0. Quelle des kompletten Abschnitts bisher [I15].

Einen Geiger-Müller Zähler kann man in drei verschiedenen Spannungsbereichen nutzen, um verschiedene Messungen durchzuführen. Da ich bei meinem Experiment nur den niedrigen Spannungsbereich genutzt habe, werde ich auch nur auf diesen eingehen. Dieser Spannungsbereich liegt ungefähr zwischen 300V und 900V. Im niedrigen Spannungsbereich liegt die Rekombinationswahrscheinlichkeit nahe 0, und deshalb erreichen fast alle Elektronen den Anodendraht. Für diesen Spannungsbereich gilt $I \sim \text{Anzahl der Ionisationsakte}$. Das „Problem“ was jetzt auftritt ist, dass nicht kontrolliert werden kann ob ein Teilchen mehrere Argon Atome ionisiert oder viele Teilchen einzelne Argon Atome ionisieren. Für den Einsatz des niedrigen Spannungsbereich ist das allerdings überhaupt kein Problem, weil es nur darum geht zu messen wie schädlich die Strahlung ist. Wenn man von der Schädlichkeit der Strahlung spricht dann geht es darum, wie viele Körperzellen gegebenenfalls beschädigt werden können. Ob es durch viele einzelne oder ein starkes Teilchen passiert ist egal. Diese Art der Messung ist für mein Experiment geeignet, weil es nur darum geht die Strahlung abzuschirmen. Dafür muss man nicht unbedingt wissen wie viel Energie die Strahlung hat oder wie viele Teilchen genau ankommen. Ziel ist es eine Formel aufzustellen mit der man angeben kann wie gut man, mit einer festgelegten Dicke, die Strahlung eines bestimmten Präparats abschirmen kann. Quelle des Abschnitts [I16].

Beim Geiger-Müller Zähler ist es so, dass durch die Ionisation der Argon Atome im Zylinder, eine positive Raumladung entsteht. Die Elektronen bewegen sich nämlich viel schneller zum Anodendraht als die Argon-Ionen sich zum Kathodenzyylinder bewegen. Die positive Raumladung steht in Konkurrenz mit dem positiven Pol des elektrischen Feldes an der Zylinderwand. Dadurch werden Elektronen nicht mehr so schnell zum Anodendraht kommen wie vorher und die Rekombinationswahrscheinlichkeit erhöht sich. Neueinfallende radioaktive Teilchen ionisieren nicht mehr so häufig, weil keine doppelte Ionisation stattfindet und nur noch wenige Argon Atome, die nicht ionisiert sind, vorhanden sind. Aufgrund von diesen Eigenschaften, gibt es eine Zeit, in der keine neue Strahlung mehr gemessen wird. Diese Zeit nennt man Totzeit. Die Totzeit ist nicht sehr lang, kann aber dazu führen, dass man Strahlung unterschätzt. Wenn sich nun die Argon Ionen nach und nach wieder neutralisieren indem sie den Zylindermantel erreichen, dann „erholt“ sich der Zähler nach und nach und es wird wieder etwas gemessen. Die Zeit in der sich das Zählrohr erholt nennt man „Erholungszeit“. Die Totzeit ist von Zählrohr zu Zählrohr unterschiedlich und ich werde die Totzeit bei der Auswertung meines Experiments nicht herausrechnen können. Quellen des Abschnitts [Finke], [I17]

2.5 Theorie der Abschirmung

Das Prinzip hinter der Abschirmung ist simpel. Man legt oder stellt der Strahlung etwas in den Weg, durch dass sie nur abgeschwächt oder gar nicht hindurch kann.

2.5.1 α – Strahlung

Die α -Strahlung ist die Art radioaktiver Strahlung die am einfachsten abzuschirmen ist. Schon ein Blatt Papier reicht meistens aus, um sie fast vollständig abzuschirmen. Deshalb ist sie auch nicht im Titel genannt und wird nicht im Experiment untersucht. Ich möchte trotzdem kurz auf sie eingehen, da man sie auch nicht einfach ignorieren kann.

α -Teilchen sind ziemlich groß im Vergleich zu anderen Strahlungen. Die Heliumkerne treffen also häufiger auf andere Kerne, des abschirmenden Materials, durch die sie dann abgebremst oder abgelenkt werden. Dieser Effekt ist aber nur nebensächlich, da die Chance

auf einen Zusammenstoß immer noch sehr gering ist. Hauptsächlich wird α -Strahlung durch Wechselwirkungen mit den Elektronen anderer Atome abgeschirmt. Durch die Coulombkraft ziehen Heliumkerne die Elektronen anderer Atome an. Dabei werden die Kerne zwar nur sehr leicht abgelenkt, weil sie eine hohe Masse haben, aber sie verlieren Energie in Form von Geschwindigkeit [Grehn]. Weil die α -Teilchen ein viel höheres Ionisationspotential besitzen als die anderen Strahlungen verlieren sie „schneller“ Energie, wenn sie auf Materie treffen. Da es für eine Ionisation Elektronen braucht, die von den α -Teilchen erreichbar sind, ist es außerdem logisch, dass eine Absorberschicht aus einem Material mit einer hohen Ordnungszahl, besser abschirmt, weil viel mehr Elektronen vorhanden sind. Die Elektronendichte ist höher.

2.5.2 β – Strahlung

β -Strahlung wird auf ziemlich ähnliche Weise abgeschirmt wie die α -Strahlung. Auch die Elektronen verlieren Energie durch Ionisation. Weil das Ionisationspotential 100-mal geringer ist als das der Heliumkerne, werden sie nicht so leicht abgeschirmt. Ein paar Millimeter Aluminium genügen dafür aber.

Allerdings gibt es einen entscheidenden Unterschied zwischen α -Teilchen und β -Teilchen. Elektronen und Heliumkerne haben eine unterschiedliche Masse. Um genau zu sein ist ein Heliumkern um die 7200-mal so schwer wie ein Elektron. Aufgrund dieser Tatsache werden die Elektronen der β -Strahlung, leicht durch die Coulombkraft, abgelenkt [Grehn]. Man unterscheidet in elastische und unelastische Wechselwirkung von Elektronen mit Atomkernen. Bei der elastischen Wechselwirkung reicht die Coulombkraft des Kerns aus um das Elektron abzulenken [Grehn]. Außerdem wird der Atomkern in Richtung des Elektrons gezogen. Diese Art der Wechselwirkung ist nur möglich bei leichten Kernen. Eine Darstellung der Wechselwirkungen liegt im Anhang vor [A3].

2.5.2.1 Bremsstrahlung

Die zweite Art der Wechselwirkung von Elektronen mit Atomkernen ist die unelastische Wechselwirkung, zu der ebenfalls eine Darstellung im Anhang [A3] vorliegt. Bei dieser Art der Wechselwirkung, wird das Elektron so stark abgelenkt, dass es Energie in Form eines Quants emittiert. Dabei wird das Elektron beschleunigt oder abgebremst. Dieses Quant besitzt die Menge an Energie, welche aus der Differenz der Energie vor dem Beschleunigungsvorgang und der Energie nach dem Beschleunigungsvorgang besteht [Grehn]. Das heißt das emittierte Quant hat, bei einer Beschleunigung, eine negative Energie. Dieser Zustand ist bei Quanten möglich, ich werde aber nicht darauf eingehen. Diese Strahlung in Form von Quanten nennt man Bremsstrahlung [Grehn]. Die Bremsstrahlung ist der γ -Strahlung sehr ähnlich, ist aber nicht so energiereich. Genauso wie die γ -Strahlung besteht die Bremsstrahlung auch aus elektromagnetischen Wellen, vereinfacht aus Photonen. Wenn man die Bremsstrahlung also Abschirmen will, verhält sie sich wie γ -Strahlung. Auch bei der Abschirmung der β -Strahlung ist es so, dass eine Absorberschicht mit einer höheren Elektronendichte besser abschirmt. Allerdings muss man aufpassen, dass dadurch nicht unnötige zusätzliche Bremsstrahlung entsteht. Denn wenn man schwerere Atome zum abschirmen nutzt, dann ist die Chance größer, dass Bremsstrahlung entsteht.

2.5.3 γ -Strahlung

Weil die γ -Strahlung kaum ionisierend ist, wird sie hauptsächlich durch andere Wechselwirkungen mit Materie abgeschirmt und nur sehr wenig durch Ionisation. Dabei werden einzelne Photonen entweder ganz absorbiert, so abgelenkt, dass sie nicht in Messrichtung aus der Absorberschicht austreten, oder sie „fliegen“ ungeschwächt durch die Absorberschicht [Lautenschlager]. „Dieses „Alles-oder-Nichts“-Prinzip führt dazu, dass γ -Strahlung in einem Absorber exponentiell mit dem zurückgelegten Weg geschwächt wird.“ [Lautenschlager, S.178 Z.5-8].

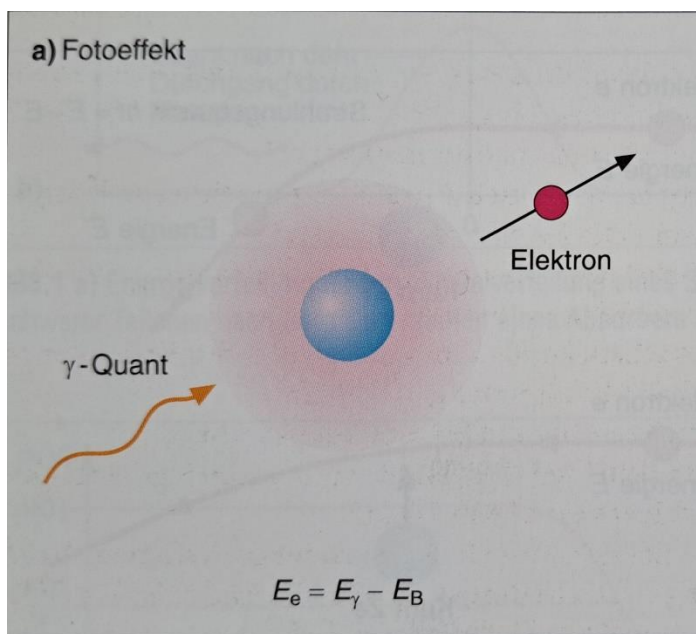
2.5.3.1 Wechselwirkungen mit Materie der γ -Strahlung

γ -Strahlung wechselwirkt generell viel weniger mit Materie als geladene Teilchen, deshalb hat sie auch eine größere Reichweite. Ich werde auf die drei hauptsächlichsten Wechselwirkungen mit Materie, dem Fotoeffekt, dem Compton-Effekt und der Paarerzeugung eingehen.

1. Fotoeffekt

Beim Fotoeffekt löst ein Photon, der γ -Strahlung, ein Elektron aus der Hülle eines Atoms. Dabei wird das Photon absorbiert und die Energie des emittierten Elektrons besteht aus der Differenz der Energie des Photons, vor dem Fotoeffekt, und der Bindungsenergie des Elektrons [Grehn]. Der Fotoeffekt tritt bei Strahlung niedriger Energie, im Bereich weniger keV, am häufigsten auf.

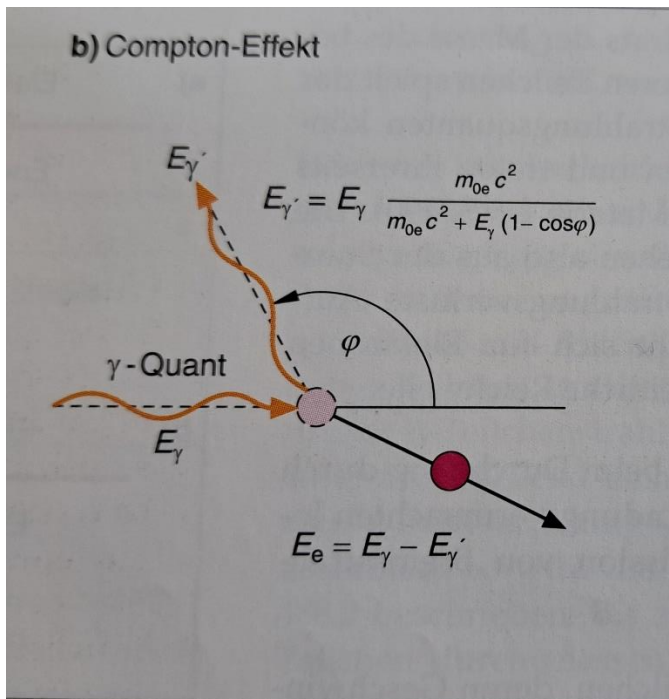
Hier ein Bild aus der Quelle [Grehn]:



2. Compton-Effekt

Beim Compton-Effekt wird ein einfallendes Photon von einem Teilchen, z.B. einem Elektron, reflektiert und überträgt einen Teil seiner Energie. Dabei wird das getroffene Teilchen weggestoßen. Die Wellenlänge des Photons verkleinert sich, es hat also weniger Energie, und die Richtung ändert sich, womit es nicht mehr in Richtung der anderen Strahlen fällt.

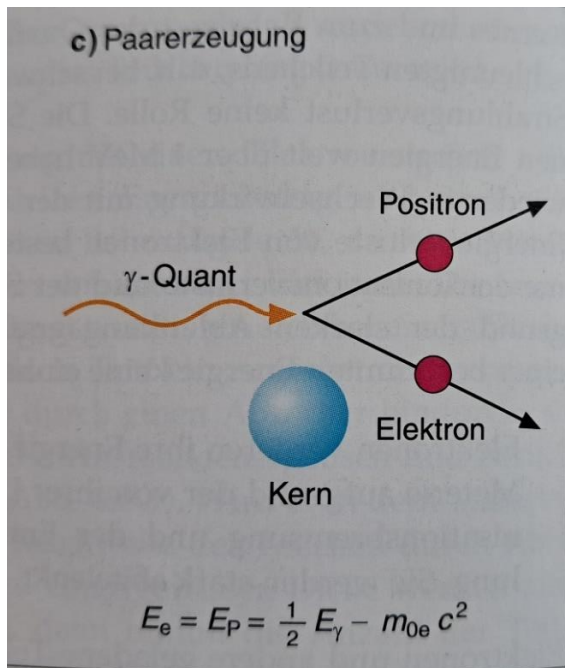
Hier ein Bild aus der Quelle [Grehn]:



3. Paarerzeugung

Paarerzeugung findet statt, wenn die Energie eines Photons größer ist als die doppelte Ruheenergie eines Elektrons [Grehn]. Diese Energie beträgt $1,02\text{MeV}$ [Grehn]. Dabei teilt sich ein Photon in ein Positron und ein Elektron auf. Diese beiden Teilchen stehen in einem Teilchen-Antiteilchen Verhältnis zueinander. Das heißt, dass ihre Ladungen betraglich gleich groß sind, aber unterschiedliche Vorzeichen haben. Nur so kann die gesamte Ladung erhalten bleiben, denn Photonen sind ungeladen. Deshalb ist es auch logisch, dass die Mindestenergie für die Paarerzeugung die zweifache Ruhemasse eines Elektrons ist. Die Paarerzeugung kann nur im Coulomb-Feld eines Atoms stattfinden [Grehn]. Daraus kann man schließen, dass „größere“ und „schwerere“ Atome die γ -Strahlung besser Abschirmen.

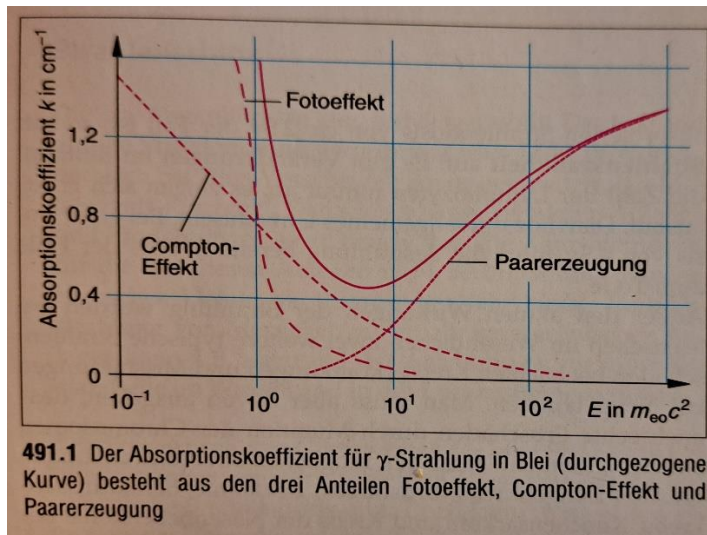
Hier ein Bild aus der Quelle [Grehn]:



Energieabhängige Verteilung der Wechselwirkungen

Wie gerade schon festgestellt, können bestimmte Wechselwirkungen nur bei bestimmten Mengen von Energie stattfinden. Die Paarerzeugung ist erst bei der doppelten Ruheenergie des Elektrons möglich. Also erst bei $1,02\text{MeV}$. Der Foto-Effekt findet überwiegend bei niedrigen Energien im Bereich von wenigen keV statt. Bei höheren Energien ist die Energie so groß, dass das Photon nicht absorbiert wird, weil die Arbeit die aufgewendet werden muss um ein Elektron aus der Hülle zu lösen nicht so groß ist, dass die gesamte Energie des Photons verwendet wird. Wenn dieser Fall eintritt, dann findet eher der Compton-Effekt statt, also die Streuung des Photons am Elektron. Bei niedrigen Energien dominiert also der Foto-Effekt und sobald die Paarerzeugung möglich ist gewinnt sie, bei steigender Energie, schnell an Bedeutung und ist irgendwann, ab ungefähr der zehnfachen Ruheenergie des Elektrons, dominierend. Quellen des Abschnitts [Grehn] [Finke]. Aus dieser Verteilung der Wechselwirkungen folgt der Absorptionskoeffizient. Weil das aber abhängig von der Energie der γ -Strahlung ist, kann ich ihn nicht auf diese Weise bestimmen, denn die Energie der Strahlung konnte ich nicht experimentell bestimmen.

Eine Abbildung die das veranschaulicht findet sich in der Quelle [Grehn]:



2.5.4 Absorptionsgesetz

Das Absorptionsgesetz folgt einer ähnlichen Herleitung wie das Zerfallsgesetz. Man kann sagen, dass die Anzahl der Teilchen, die abgeschirmt wurden, proportional zu der Anzahl Teilchen ist, die emittiert werden. Es gilt: $N \sim \Delta N$, dabei ist N die Anzahl der übrigen Teilchen, nach einer Absorberschicht, und ΔN die Anzahl der absorbierten Teilchen. Außerdem ist die Anzahl der übrigen Teilchen umgekehrt proportional zur Dicke x . $N \sim \frac{1}{x}$. Daraus kann man eine Gleichung bilden. μ ist der Proportionalitätsfaktor, welcher logischerweise negativ sein muss, da wir es mit einer Abschirmung zu tun haben.

$$\frac{\Delta N}{x} = -\mu \cdot N$$

Betrachtet man dies für eine infinitesimal dünnen Schicht dx , dann gilt:

$$\frac{dN}{dx} = -\mu \cdot N$$

Diese Gleichung kann man umstellen indem man mit dx multipliziert und durch N teilt:

$$\frac{1}{N} dN = -\mu \cdot dx$$

Um diese Differenzialgleichung zu lösen integriert man:

$$\int_0^N \frac{1}{N} \cdot dN = -\mu \cdot \int_0^x dx$$

$$\ln(N) = -\mu \cdot x$$

Um jetzt das Absorptionsgesetz zu erhalten muss noch eine e-Funktion angewendet werden.

$$N(x) = N_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

Die konstante N_0 , also die Menge an Teilchen, die ohne Abschirmung für $x = 0$ gemessen wurde, muss eingesetzt werden damit die Gleichung stimmt. Mithilfe der erhaltenen Formel kann man jetzt experimentell den Absorptionskoeffizienten μ berechnen. Mithilfe von μ ist es möglich die Halbwertsdicke und den Wirkungsquerschnitt eines Absorbers festzustellen. Das Absorptionsgesetz wird hauptsächlich für γ -Strahlung verwendet, kann aber auch für β -Strahlung verwendet werden.

Quelle der Herleitung: [Finke] und Informationen von Herr Dr. von Düsterlohe.

2.6 Experiment

Ziel des Experiments ist es den Absorptionskoeffizienten eines radioaktiven Elements, sowie den Wirkungsquerschnitt und die Halbwertsdicke, für verschiedene Materialien zu bestimmen.

2.6.1 Aufbau

Das Experiment wird mit dem radioaktiven Element Radium-228 durchgeführt [A4]. Radium-228 zerfällt unter β^- -Zerfall zu Actinium-228 und ist ein Tochternuklid von Thorium-232 und Frankium-228 [I18]. 100 μ g dieses Elements sind in einer Bleiröhre eingegossen, welche zu einem Ende hin offen ist [A5]. Dadurch wird die Strahlung gezielter in eine Richtung gebündelt und es entsteht weniger Gefahr eine Strahlenvergiftung. Zudem wird der Strahler mit Bleiblöcken von allen Seiten, außer der in der gemessen wird und der Unterseite, umrandet. Zur Messung der Strahlung wird ein Geiger-Müller Zähler verwendet, wobei zu beachten ist, dass dieser alle Arten von Strahlung misst und nicht zwischen ihnen differenziert. Der Geiger-Müller Zähler wird so ausgerichtet, dass er die Strahlung gut erkennt. Ich habe ihn in ein Lineal gesteckt damit er nicht verrutscht [A6]. Wenn der Zähler nämlich verrutscht, dann sind alle darauffolgenden Messergebnisse nicht mehr vergleichbar

mit den anderen, weil er besser oder schlechteren „Empfang“ haben könnte. Das Endstück des Geiger-Müller Zählers habe ich auf einen Stuhl gestellt um von weiterer Entfernung ablesen zu können, damit die Strahlungsbelastung so gering wie möglich bleibt [A7].

2.6.2 Durchführung

Damit die Messungen vergleichbar sind, musste ich nicht die Counts die in einer bestimmten Zeit gemacht werden messen, sondern die Zeit die gebraucht wurde um eine festgelegte Anzahl an Counts zu erreichen. Das ist so, weil die Fehlerrate des Geiger-Müller Zählers die Wurzel der gezählten Counts ist, wie im Abschnitt „Statistik des radioaktiven Zerfalls“ erklärt wurde. Ich habe mich dabei für einen Wert von 750 Counts entschieden, weil es nicht zu hoch ist als dass es sehr lange dauert die Messungen durchzuführen und gleichzeitig, nach der Bereinigung der Werte, noch hoch genügende Zahlen vorhanden sind. Zur Messung der Zeit habe ich eine Stoppuhr verwendet.

Bevor es mit dem eigentlichen Experiment losging musste die Umgebungsstrahlung gemessen werden. Dieser Wert ist ebenfalls wichtig um die Messergebnisse zu bereinigen. In zwei Intervallen von jeweils 10 Minuten wurde die Umgebungsstrahlung gemessen.

Angefangen habe ich mit Blei, weil Blei die Strahlung am besten absorbiert und es deshalb auch am längsten gebraucht hat um die 750 Counts zu erreichen. Die Dicke der Bleiplatten wurde von 15 mm an immer weiter reduziert und die Zeiten aufgeschrieben. Dass mit 15mm angefangen wurde, hatte den Hintergrund die Zeit und die Anzahl an Counts besser einschätzen zu können. Genau der gleiche Ablauf wurde auch bei der Messung mit Eisen- und Aluminiumplatten durchgeführt.

Zum Schluss musste noch einmal die Zeit gemessen werden, die es dauerte um ohne eine Abschirmung die 750 Counts zu erreichen.

2.6.3 Ergebnisse

Blei Abschirmung:

Dicke	Zeit
20mm	587,63s
19mm	591,73s
18mm	592,35s
17mm	559,37s
16mm	502,19s
15mm	494,88s
10mm	400,74s
5mm	290,77s
3mm	368,59s
2mm	250,14s
1mm	237,00s

Aluminium Abschirmung:

Dicke	Zeit
7mm	210,89s
6mm	216,94s
5mm	227,31s
4mm	216,77s
3mm	202,83s
2mm	157,70s
1mm	93,78s

Eisen Abschirmung:

Dicke	Zeit
17mm	387,77s
15mm	356,53s
10mm	306,24s
5mm	250,24s

Nullmessungen (Umgebungsstrahlung):

Messung Nr.	Counts
1	235
2	264

Messungen ohne Abschirmung:

Messung Nr.	Zeit
1	13,84s
2	15,26s

2.6.4 Auswertung

Der erste Schritt der Auswertung ist die Bereinigung der Messergebnisse. Dafür müssen wir die Standardabweichung bei einer Zählung von Zerfällen anwenden.

$$\sigma = \sqrt{n}$$

Jedes Mal wurden 750 counts gezählt. Das heißt wenn man die Wurzel davon zieht, hat man ≈ 27 counts die man abziehen muss. Also bleiben noch 723 counts übrig. Zusätzlich zur Standardabweichung muss man noch die Nullmessung, also die Strahlung die schon vorher in der Umgebung herrscht, abziehen. Dafür habe ich zweimal 600s lang gemessen und durchschnittlich 250 counts gezählt. Die Standardabweichung gilt natürlich auch hier und es mussten ungefähr 16 counts abgezogen werden. Damit blieben noch 234 counts. Die Nullmessung zieht man nun von den Messergebnissen ab, indem man $N = N_0 - \left(\frac{t_{N_0}}{t_z} \cdot Z\right)$ rechnet. Dabei ist N_0 die Anzahl der bereinigten gemessenen counts, also 723. t_{N_0} ist die Zeit die gebraucht wurde um die Anzahl der 723 counts zu erreichen. Ich werde ab hier nicht mehr jedes Mal erwähnen, dass die counts bereinigt sind, sondern werde nur noch von 723 gemessenen counts sprechen. Z ist die Anzahl der counts von der Nullmessung (234). t_z ist die Zeit für die Nullmessung, also 600s. Nach dieser Berechnung ist die Bereinigung komplett.

Der letzte Schritt den man machen muss, um vergleichbare Ergebnisse zu bekommen ist die Anzahl an counts auf die gleiche Zeit zu bekommen. Dazu rechnet man $c = \frac{300s}{t_{N_0}} \cdot N$. Die 300s stammen daher, dass ich alle Ergebnisse auf eine Zeit von 300s bringen möchte. Die anderen Variablen sind genauso wie in der vorherigen Rechnung. Das c ist die Anzahl an counts, bei gegebener Dicke, in 300s.

Nachdem man diese Rechnungen für Blei, Aluminium, Eisen und die Messung ohne Abschirmung durchgeführt hat kommen diese Tabellen dabei raus:

Blei:

Dicke	Anzahl Counts/300s
20mm	252,109814
19mm	249,5523127
18mm	249,1686503
17mm	270,7576559
16mm	314,9082419
15mm	321,2880698
10mm	424,2486899
5mm	628,9504075
3mm	690,5505417
2mm	750,1144159
1mm	798,1898734

Aluminium:

Dicke	Anzahl Counts/300s
7mm	911,4982692
6mm	882,8156172
5mm	837,2035106
4mm	883,599714
3mm	952,3684366
2mm	1258,396322
1mm	2195,859885

Eisen:

Dicke	Anzahl Counts/300s
17mm	442,3521933
15mm	491,3639525
10mm	591,2680251
5mm	749,7679028

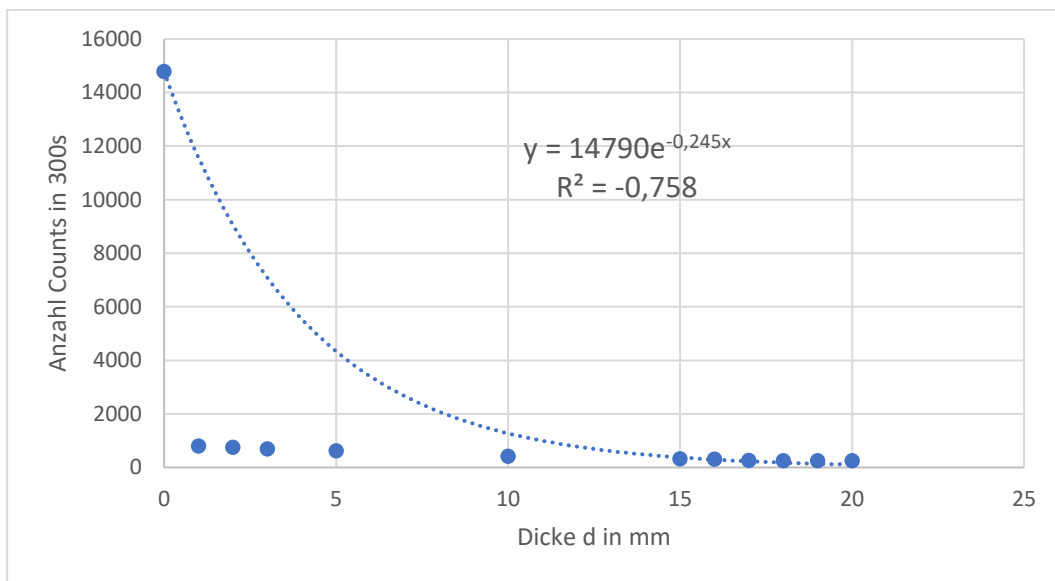
Nullmessung:

Dicke	Anzahl Counts/300s
0mm	14790,21649

Eine Sache die man nicht rausrechnen kann, ist die Bremsstrahlung die entsteht, wenn β -Strahlung abgeschirmt wird. Die Bremsstrahlung wird also einfach genauso mitgemessen wie die γ -Strahlung.

Blei:

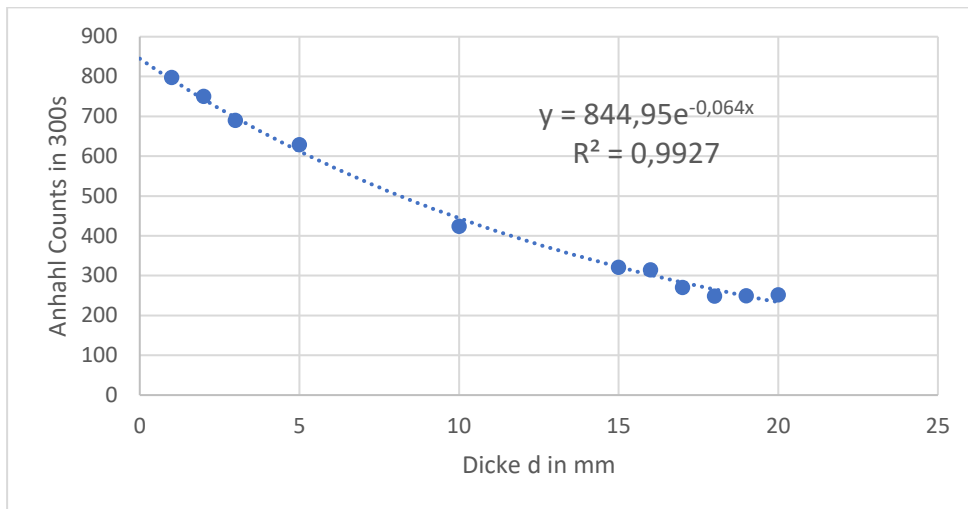
Lässt man sich in Excel ein Diagramm aus allen Werten der Tabelle erstellen und eine Ausgleichskurve zeichnen, dann kommt dieser Graph dabei heraus:



Rechts oben im Diagramm ist die Formel für die Kurve zu sehen. Der Wert R^2 gibt an wie gut die Kurve zu den Werten passt. -0,758 ist kein guter Wert. Je näher der Wert an 1 liegt, desto besser „fittet“ die Kurve.

Bei dieser Kurve ist auffällig, dass der Wert für keine Abschirmung so weit ausreißt. Daraus schließe ich, dass die β -Strahlung bei einer Schicht von 1mm Blei schon komplett abgeschirmt ist. Die Quelle [Lautenschlager] unterstützt diese Annahme. Der nächste Schritt ist also, den ersten Wert wegzulassen und einen neuen Graphen zu erzeugen um zu überprüfen ob die Annahme stimmt.

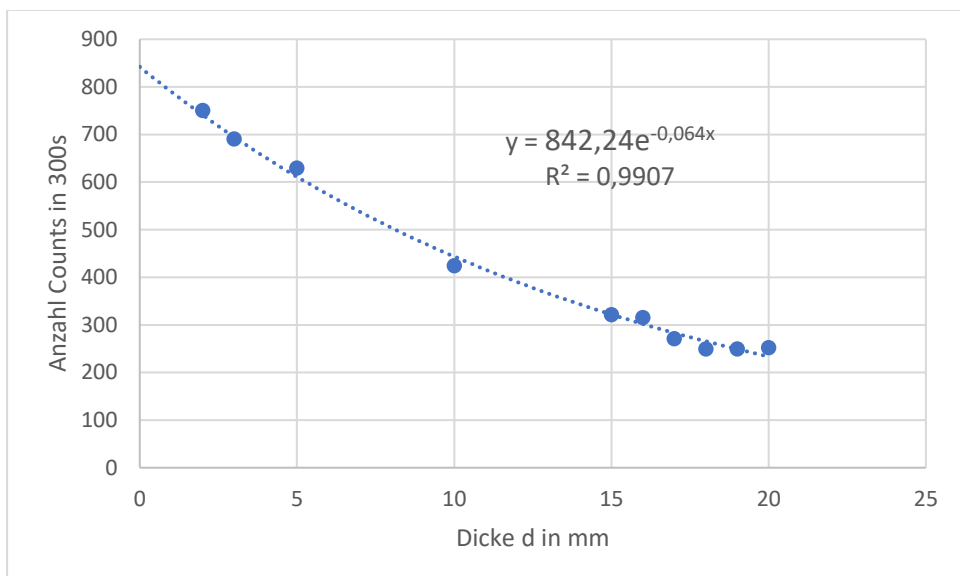
Erster Wert (0mm) weggelassen:



Wie man sieht, passt die erzeugte Kurve schon viel besser zu den gemessenen Werten. Der Wert für R^2 ist um weniger als 0,01 von 1 entfernt. Das entspricht einer sehr guten Passgenauigkeit. Die Annahme, die β -Strahlung sei nach 1mm Blei schon komplett abgeschirmt, bestätigt sich also. Der Absorptionskoeffizient μ (Exponent von e) liegt bei 0,064.

Interessant ist jetzt noch was sich an der Formel für die Kurve, und vor allem der Konstante noch verändert, wenn man andere Werte nimmt. Also zum Beispiel, die letzten beiden Werte weglässt oder noch ein paar der vorderen Werte.

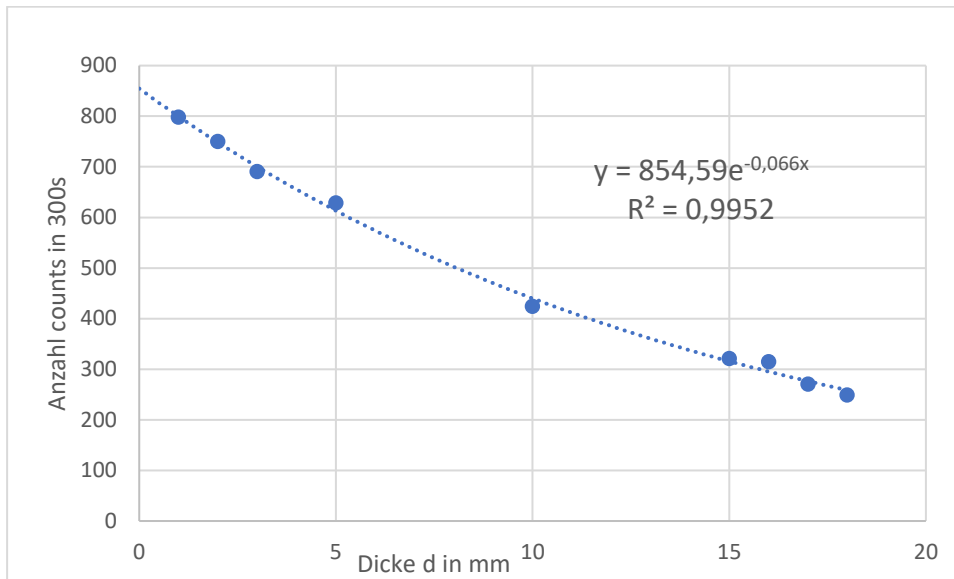
Ersten beiden Werte (0mm, 1mm) weggelassen:



Wenn man die Werte für gar keine Abschirmung und 1mm Abschirmung weglässt, dann wird aus den Punkten, diese Kurve erzeugt. Man sieht, der Absorptionskoeffizient, hat sich

nicht verändert und liegt weiterhin bei 0,064. Auch der Wert von R^2 ist immer noch sehr nah an 1. Der Wert der sich geändert hat, ist der Wert für $x=0$. Also der Wert der rechnerisch rauskommt, wenn man keine Abschirmung hat. Da wir festgestellt haben, dass die β -Strahlung ab 1mm abgeschirmt wird, sind die Werte und auch die Kurve nur noch für die γ -Strahlung aussagekräftig. Nur die γ -Strahlung würde also ungefähr 843 (Mittelwert der beiden Kurven) counts hervorbringen, wenn man keine Abschirmung hätte.

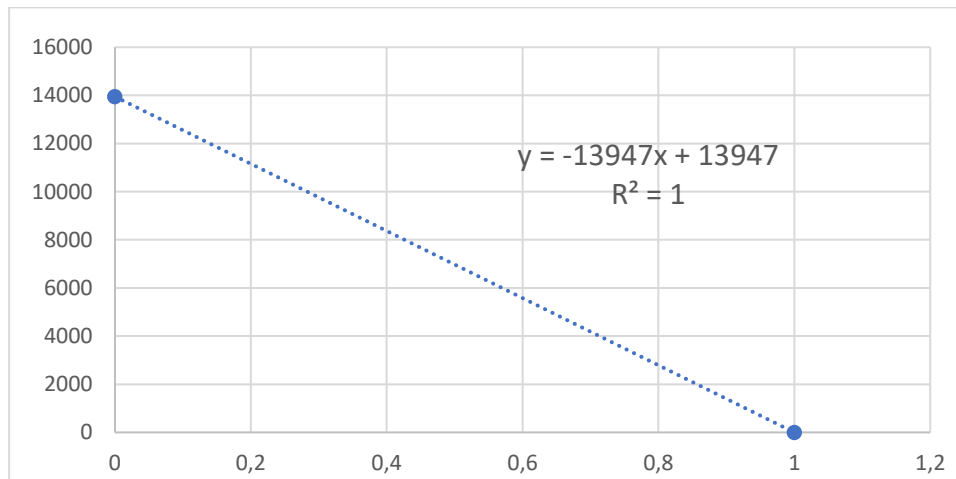
Letzten beiden Werte (20mm, 19mm) und erster Wert (0mm) weggelassen:



Wenn man die letzten beiden Werte weglässt, dann gibt es schon eine größere Veränderung. Der Absorptionskoeffizient verändert sich um 0,002 und Y-Achsenabschnitt verschiebt sich von ≈ 844 auf ≈ 855 . Inwiefern sich diese Änderungen auf die Halbwertsdicke auswirken werde ich bei dessen Berechnung anschauen.

Wir können jetzt aus der Differenz der Messwerte und den Werten, die aus der Formel für die γ -Strahlung hervorgehen, berechnen wie die β -Strahlung sich verhält. Dazu nehmen wir an, der Abfall der Kurve für die β -Strahlung sei annähernd linear und nehmen die Punkte von 0mm und 1mm Abschirmung als y-Achsenabschnitt und Nullstelle. Gemessen wurden für 0mm Abschirmung $\approx 14790,22$ counts und wenn man die $\approx 843,24$ counts für die γ -Strahlung abzieht, erhält man einen Wert von $\approx 13946,98$ counts für die β -Strahlung. Bei 1mm Abschirmung beträgt der Wert 0 counts für die β -Strahlung. Daraus kann man jetzt eine Gerade plotten.

Abschirmung von β -Strahlung mit Blei:

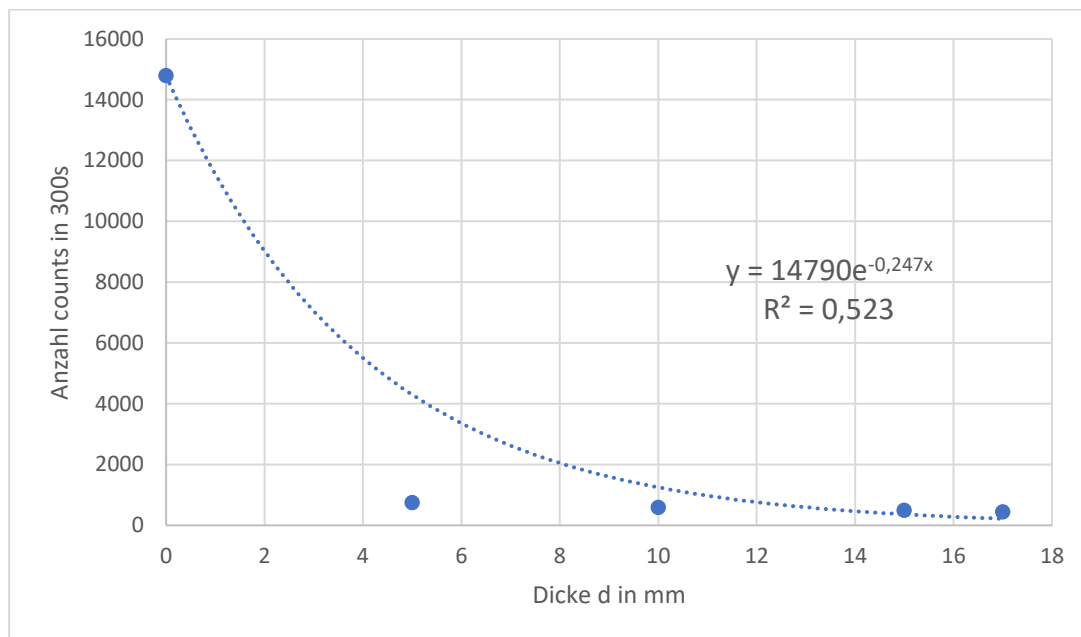


Mithilfe dieser Gerade kann man Werte für die β -Strahlung bei einer Dicke zwischen 0mm und 1mm Abschirmung berechnen. An den Absorptionskoeffizienten kommt man in diesem Fall nicht so einfach heran, da Excel keine exponentielle Trendlinie zeichnen will und wenn man es manuell mit dem Taschenrechner plottet, kommen bei Dicken von 0,0001mm schon Werte so nah an Null raus, dass es keinen Sinn ergibt diese Abschirmung exponentiell darzustellen. Jetzt erschließt sich auch besser, warum man das Absorptionsgesetz hauptsächlich für γ -Strahlung einsetzt [Grehn].

Mit dem Absorptionskoeffizienten für die γ -Strahlung lässt sich jetzt allerhand anstellen. Zum einen kann man die Halbwertsdicke von Blei für Gammastrahlung von einem Radium-Strahler berechnen. Die Formel $D_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln(2)}{\mu}$ geht aus dem Absorptionsgesetz hervor, wenn man es gleich $\frac{1}{2}N_0$ setzt. Im Fall vom Absorptionskoeffizienten von 0,064 kommt für die Halbwertsdicke der Wert 10,83mm raus. Beim Absorptionskoeffizienten von 0,066 kommt eine Halbwertsdicke von 10,50mm raus. In die SI-Basiseinheit, Meter, umgerechnet sind es 0,01083m und 0,01050m. Da dieser Unterschied nur minimal ist kann man sagen, dass die Betrachtung unterschiedlicher Messergebnisse keinen großen Unterschied in der Auswertung macht. Auch die Bremsstrahlung, die wie erwähnt, einfach mitgemessen wird ändert die Ergebnisse nicht. Wenn man eine Strahlung abschirmen will dann entsteht Bremsstrahlung zwangsweise. Vorallem bei Blei macht es keinen Unterschied, denn die β -Strahlung ist schon nach 1mm abgeschirmt und somit kommt keine neue Bremsstrahlung dazu, wenn man die Dicke erhöht.

Eisen:

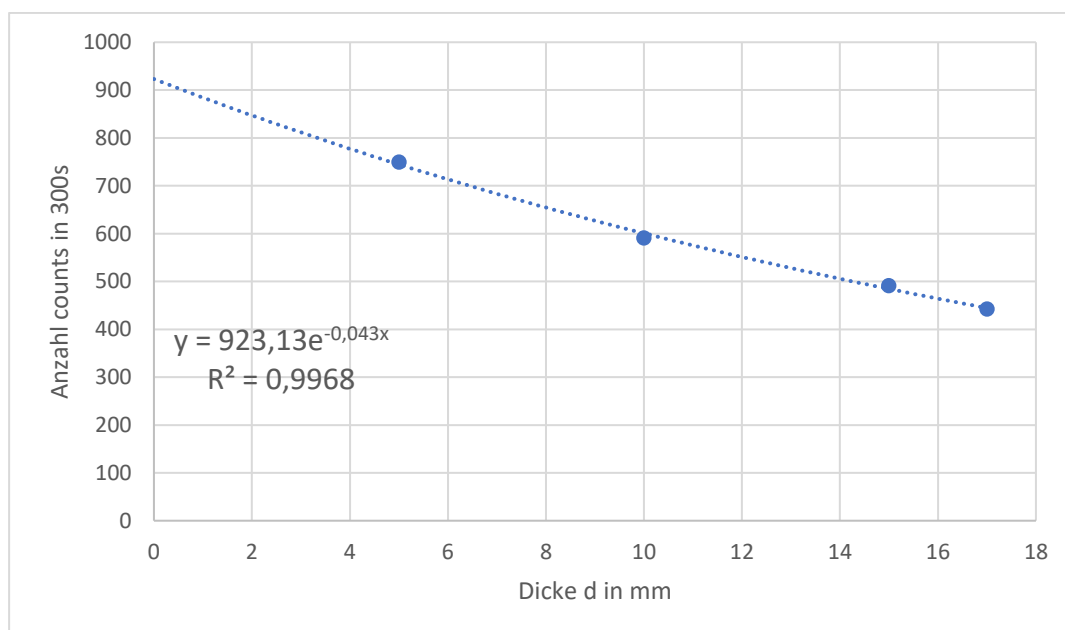
Der erste Schritt ist der gleiche wie beim Blei.



Auch bei dieser Kurve sieht man wieder, dass der Wert für 0mm Abschirmung stark ausreißt.

Auch hier formuliere ich die gleiche Annahme mit der β -Strahlung bei Blei.

Erster Wert (0mm) weggelassen:

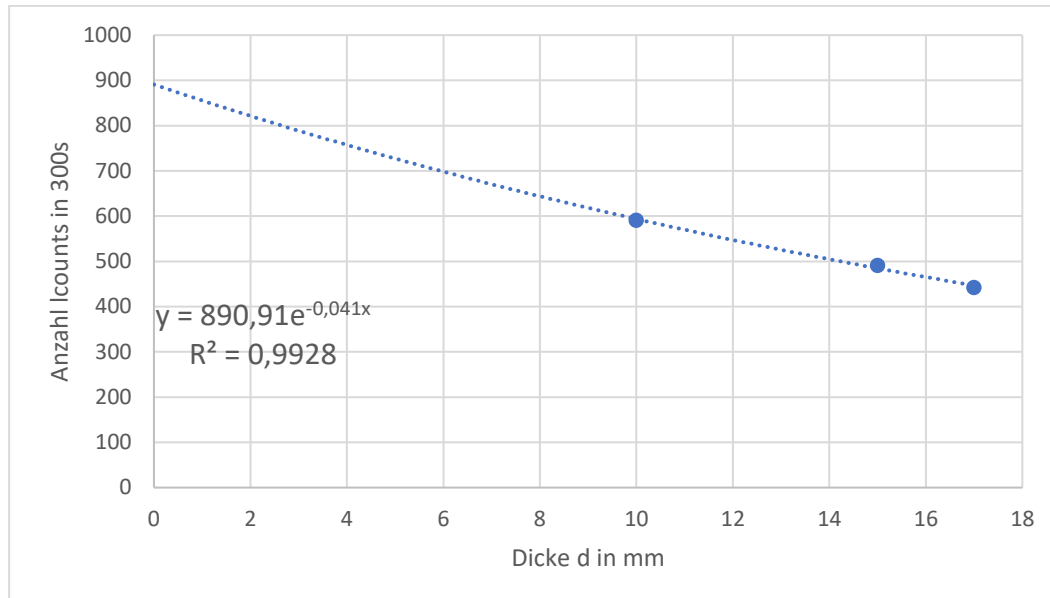


Auch hier ist es so, dass die entstandene Kurve besser fittet. Der Wert für R^2 ist sehr nah an

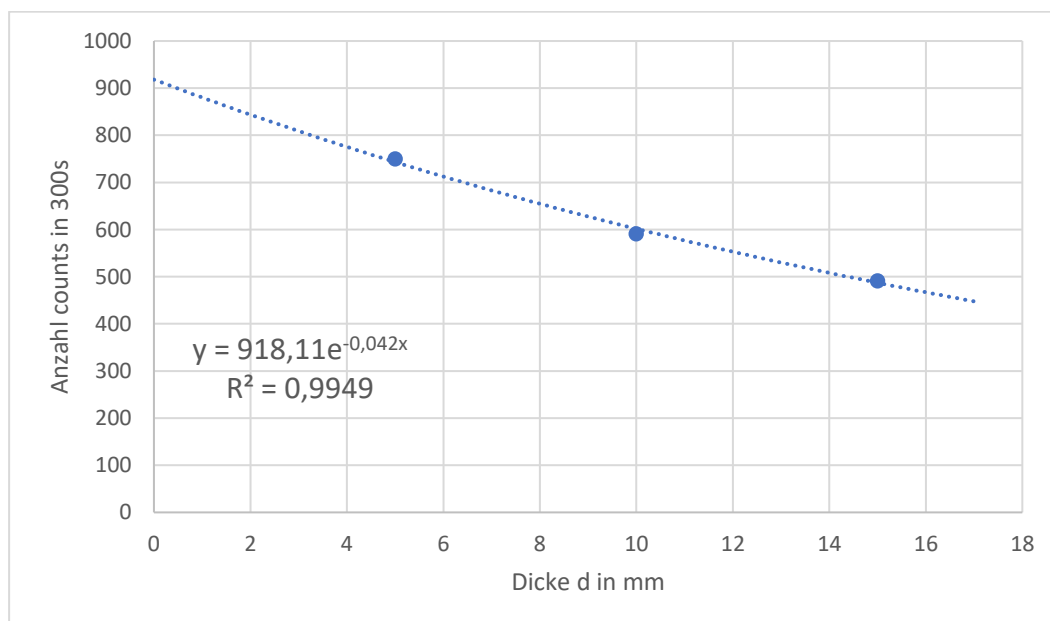
1. Der Absorptionskoeffizient liegt bei 0,043.

Jetzt kann man hier auch wieder einzelne Werte weglassen und schauen wie sich die Kurve ändert.

Ersten beiden Werte (0mm, 5mm) weggelassen:



Letzter Wert (17mm) und erster Wert (0mm) weggelassen:

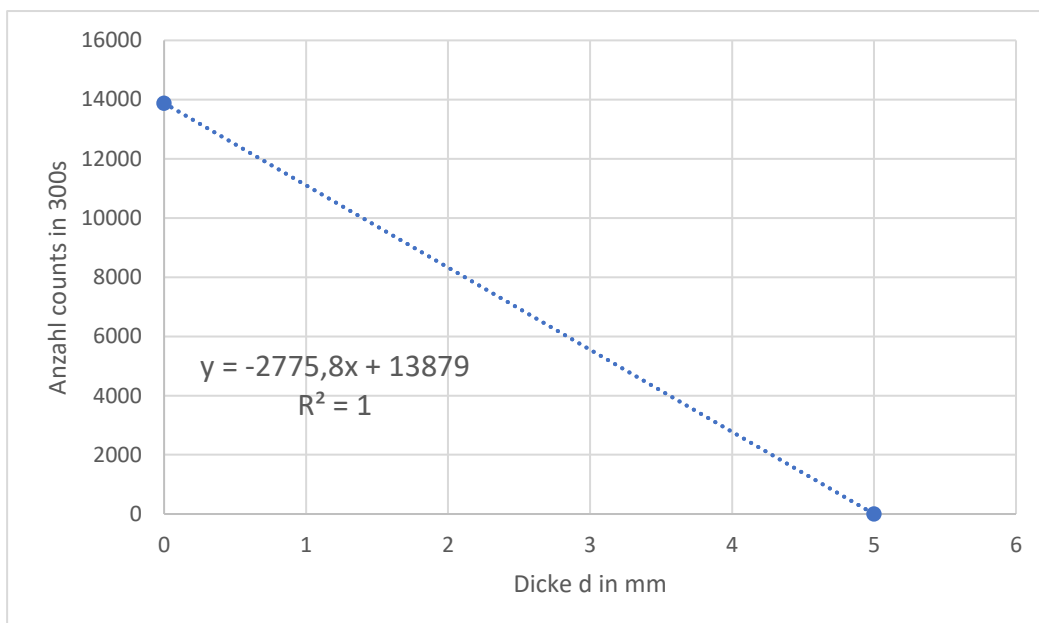


Auch bei Eisen ist es so, dass sich die Koeffizienten minimal ändern und die Y-Achsenabschnitte, also die Werte für die γ -Strahlung bei 0mm Abschirmung, sich verschieben. Es gibt aber keine großen Abweichungen, welche auf Messfehler oder ähnliches hinweisen. Auch ist die Bremsstrahlung kein Problem, da die β -Strahlung schon

nach der ersten Dicke von 5mm abgeschirmt ist, wie wir mit unseren Betrachtungen festgestellt haben.

Wenn man jetzt wieder einen Graphen für die β -Strahlung erstellen möchte, dann hat man das Problem, dass wir nicht genau wissen ab wann diese vollständig abgeschirmt ist. Bei 5mm ist sie definitiv abgeschirmt aber es könnte sein, dass sie das auch schon bei 4mm oder sogar 3mm ist. Bei Blei bestand das Problem nicht, weil ein Unterschied von wenigen mm zwischen 1mm oder eventuellen 0,9mm oder 0,8mm nicht gravierend ist. Aber bei Eisen könnten es mehrere mm sein. Da ich nichts daran ändern kann und die Zeit und die Dicke der Platten beim Experimentieren die Messungen nicht zugelassen haben, muss ich, um überhaupt einen Graphen zu haben, jetzt mal davon ausgehen dass die β -Strahlung erst ab 5mm komplett abgeschirmt wird.

Jetzt muss ich wieder die Differenz vom Wert für 0mm bilden. Da ich mehrere Werte für die γ -Strahlung habe, aufgrund der unterschiedlichen Graphen, nehme ich einen Mittelwert aus diesen. Der Mittelwert ist ≈ 911 counts. Subtrahiert man diese von den 14790 counts die insgesamt gezählt wurden, erhält man 13879 counts. Bei 5mm ist wieder ein Wert von 0 counts für die β -Strahlung erreicht, also kann man sich daraus eine Gerade plotten lassen.



Diese Gerade ist, wegen den genannten Gründen, nicht sehr aussagekräftig.

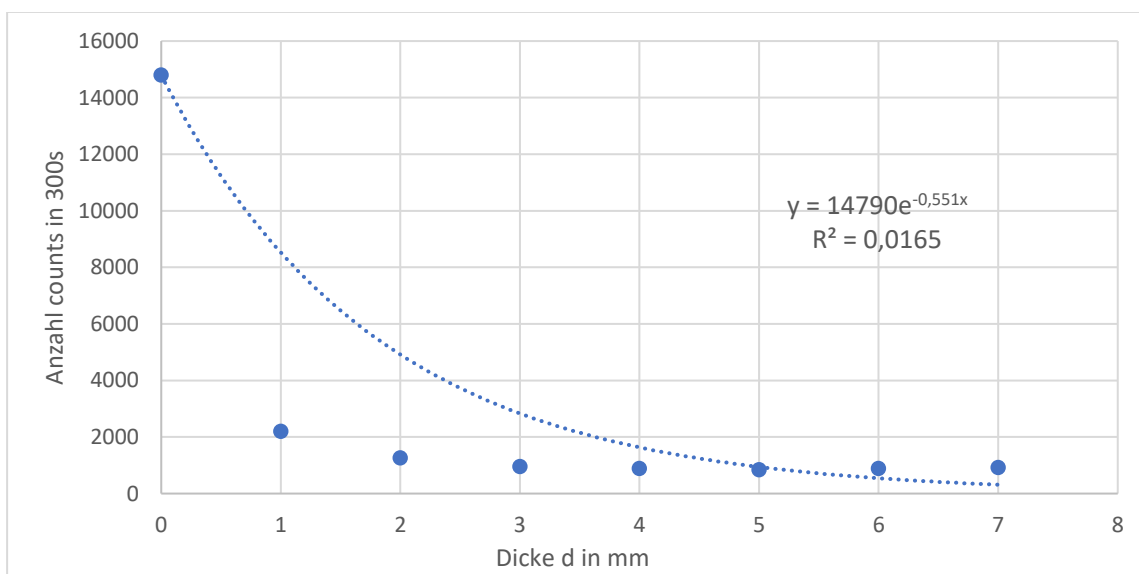
Den Absorptionskoeffizienten der γ -Strahlung kann man jetzt wieder verwenden um die Halbwertsdicke berechnen. Die Formel bleibt dieselbe wie beim Blei. Für den Absorptionskoeffizienten von 0,043 kommt für die Halbwertsdicke 16,12mm oder 0,01612m raus. Für den Absorptionskoeffizienten von 0,042 kommt für die Halbwertsdicke

16,50mm oder 0,01650m raus. Beim Absorptionskoeffizienten von 0,041 kommt für die Halbwertsdicke 16,91mm oder 0,01691m raus. Auch hier sind die Unterschiede für die Betrachtung verschiedener Werte wieder minimal. Ein Unterschied von 0,4mm ist sehr gering. Der Unterschied, in der Halbwertsdicke, zwischen Blei und Eisen liegt also bei etwa 6mm. Zu meiner anfänglichen Frage, welches Material am besten abschirmt, lässt sich also sagen, dass Blei auf jeden Fall besser ist als Eisen, um γ - und auch β -Strahlung abzuschirmen.

Aluminium:

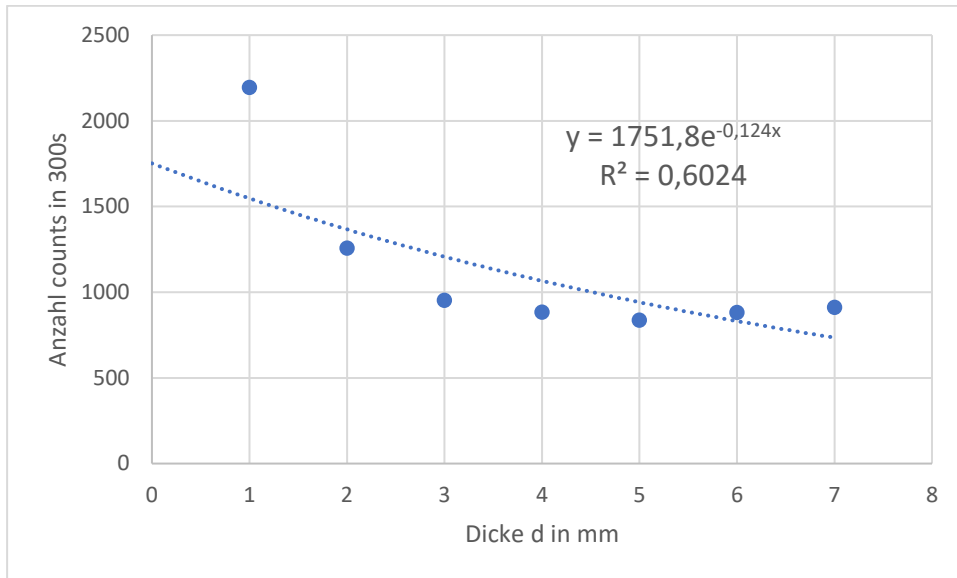
Bei Aluminium gibt es ein Problem mit der Bremsstrahlung. Diese könnte nämlich verursachen, dass der entstandene Graph irgendwann wieder nach oben verläuft. Das könnte der Fall sein, wenn durch eine bestimmte Dicke viel Bremsstrahlung entsteht, aber das Aluminium diese nicht gut abschirmt. Bei Blei und Eisen besteht das Problem nicht, da schon bei wenig Dicke die komplette β -Strahlung abgeschirmt ist und mit zunehmender Dicke nicht mehr Bremsstrahlung entstehen kann. Außerdem hatten wir beim Experiment nicht genügend Aluminium zur Verfügung. Deshalb war die maximale Dicke mit Aluminium nur 7mm. Allerdings ist die β -Strahlung erst bei ungefähr 10mm komplett abgeschirmt [I19]. Zwischen β - und γ -Strahlung zu differenzieren wird hier also nur sehr schwer möglich sein. Aus diesem Grund ist es auch extrem schwierig überhaupt einen Absorptionskoeffizienten zu bekommen. Ich werde bei der Auswertung trotzdem wie gewohnt vorgehen.

Der erste Schritt ist wieder genau derselbe wie bei Blei und Eisen auch.



Natürlich ist auch hier der Wert ohne Abschirmung wieder viel höher und die Kurve lässt sich nicht richtig fitten.

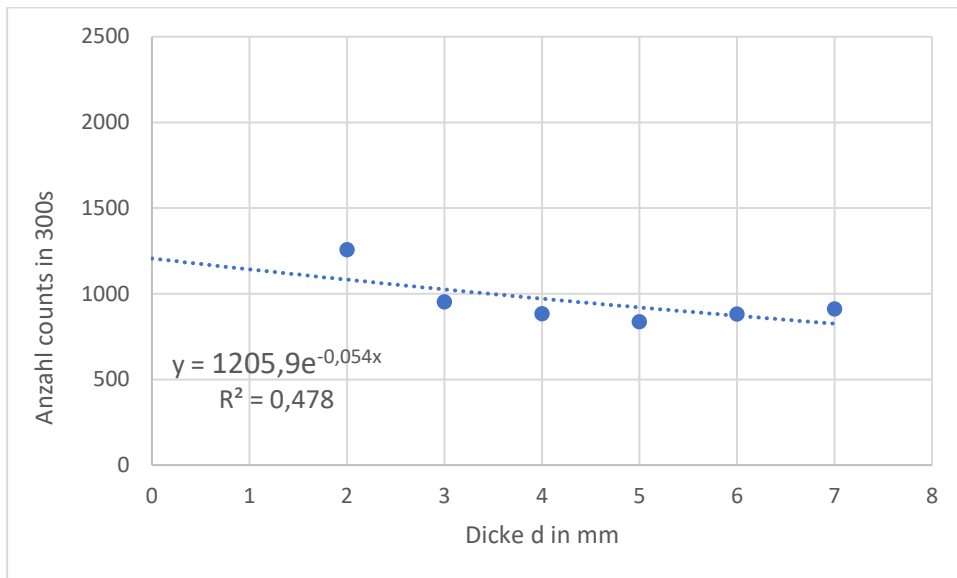
Erster Wert (0mm) weggelassen:



Hier machen sich auch schon die angesprochenen Probleme deutlich. Beim Blei und beim Eisen war es so, dass man anhand der Messdaten schon wusste, wann die β -Strahlung abgeschirmt war. Dann konnte man die Daten, welche die β -Strahlung beinhalteten, aus dem Graphen entfernen und hatte eine eindeutige Kurve für die γ -Strahlung. Bei Aluminium ist das nicht möglich, weil zu wenig Material zum Abschirmen vorhanden war. Deshalb ist der Absorptionskoeffizient hier viel zu groß.

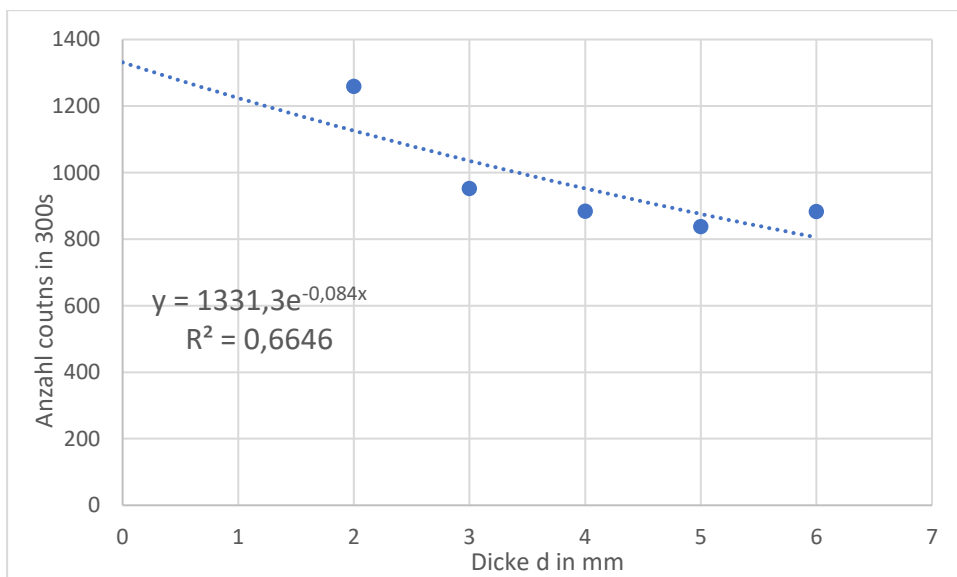
Trotz dieser Probleme habe ich versucht einen Absorptionskoeffizienten zu erhalten. Da Aluminium bekanntermaßen schlechter abschirmt als Blei oder Eisen, muss der Absorptionskoeffizient auf jeden Fall kleiner sein als der von Eisen. Aufgrund dieser Feststellung habe ich dann versucht passende Messwerte zu nehmen, um eine Kurve zu erzeugen die einen solchen Absorptionskoeffizienten hat.

Ersten beiden Werte (0mm, 1mm) weggelassen:



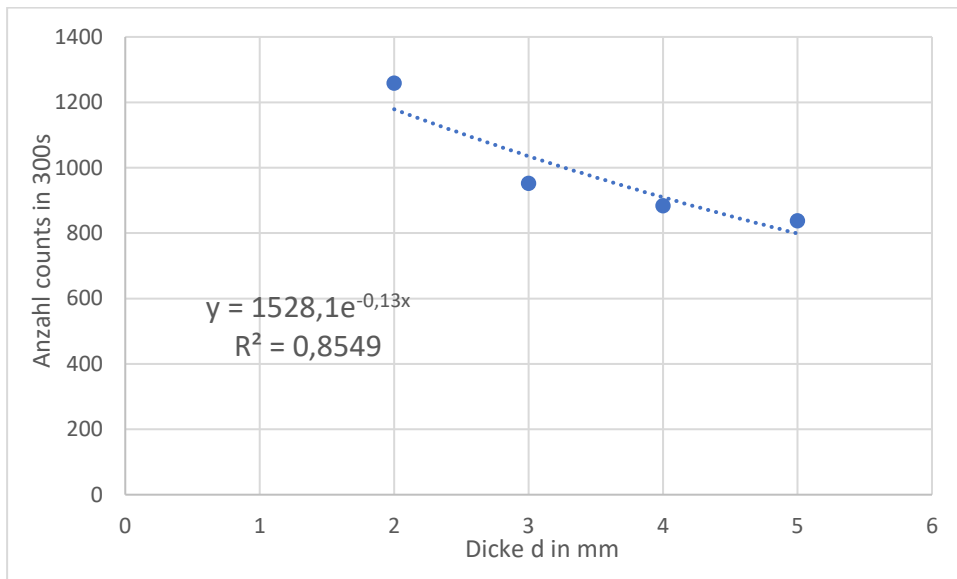
Mein erster Gedanke war, die ersten beiden Werte wegzulassen. Dadurch erhoffte ich mir den Einfluss der β -Strahlung zu verringern. Der Absorptionskoeffizient ist niedriger geworden, aber ist liegt trotzdem noch über dem von Eisen. Außerdem passt der Y-Achsenabschnitt der Kurve nicht. Dieser müsste eigentlich ungefähr in der Nähe der Werte von Eisen und Blei liegen, weil bei 0mm Abschirmung die Anzahl der counts durch die γ -Strahlung immer ungefähr gleichbleiben müsste. Bei Blei und Eisen habe ich die Abweichungen bewusst ignoriert und keine Mittelwerte genommen, da es zwischen zwei Messungen durchaus Unterschiede gibt. Ich habe nur darauf geachtet, dass es keine zu großen Abweichungen gab.

Ersten beiden Werte (0mm, 1mm) und letzten Wert (7mm) weggelassen:



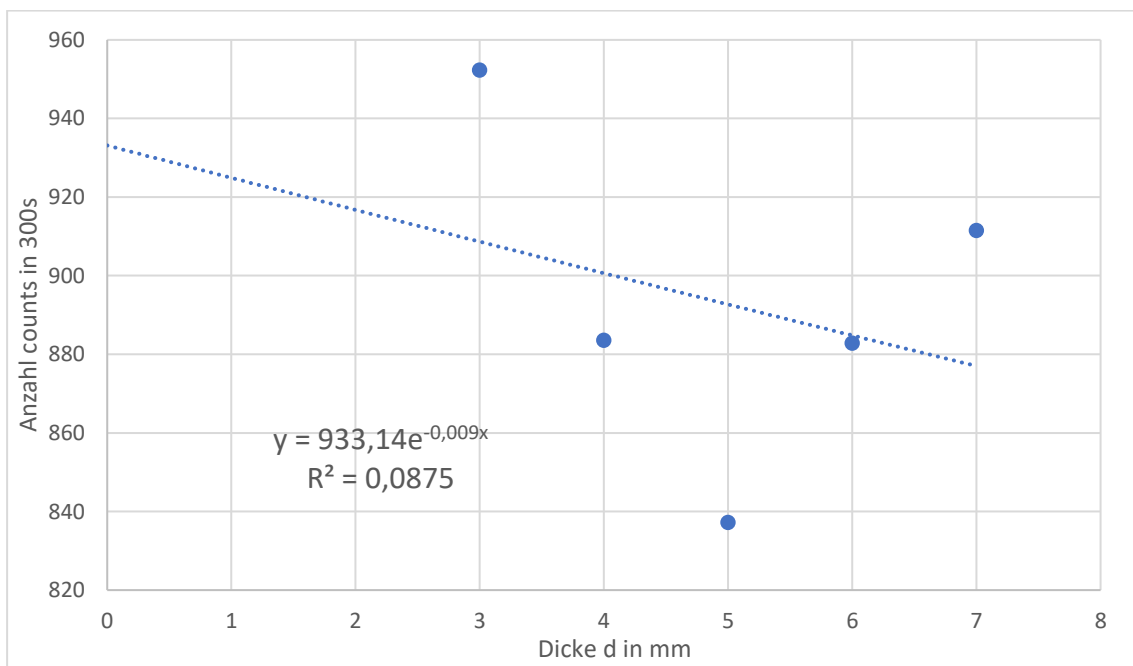
Absorptionskoeffizient zu groß und Wert für γ -Strahlung (Y-Achsenabschnitt) zu groß.

Ersten beiden Werte (0mm, 1mm) und letzten beiden Werte (7mm, 6mm) weggelassen:



Absorptionskoeffizient zu groß und Wert für γ -Strahlung zu groß. Nachdem ich die letzten beiden Kurven gesehen habe ist mir aufgefallen, dass der Koeffizient als auch der Wert für die γ -Strahlung größer werden, wenn ich die letzten Werte weglassen. Mein Schluss daraus war, dass ich vielleicht besser die hinteren mit reinnehmen sollte und die vorderen Werte weglassen sollte.

Ersten drei Werte (0mm, 1mm, 2mm) weggelassen:



Diese Kurve passt sowohl hinsichtlich des Wertes für die γ -Strahlung, als auch hinsichtlich des Absorptionskoeffizienten. Der Wert von R^2 ist zwar nicht nah an 1, aber es werden auch nur wenige Messwerte betrachtet und man muss natürlich auch mit einem Fehler oder Abweichungen in den Messungen rechnen. Eine weitere mögliche Ursache, für die steigenden Werte ab 6mm, könnte die Bremsstrahlung sein. Ab 6mm könnte die β -Strahlung so weit abgeschirmt worden sein, dass mehr Bremsstrahlung entsteht als vorher. Da Aluminium diese Strahlung nicht gut abschirmt, steigen die Messwerte ab da wieder.

Eine Differenzierung zwischen β - und γ -Strahlung ergibt hier keinen Sinn, weil die β -Strahlung immer noch in allen Messwerten vertreten ist.

Da diese Kurve die Beste ist, die sich mit meinen Werten erzeugen lässt, werde ich sie verwenden um die Halbwertsdicke zu berechnen. Weil die β -Strahlung hier in den Messwerten vorhanden ist gilt die Halbwertsdicke für die β - und die γ -Strahlung zusammen.

Bei einem Absorptionskoeffizienten von 0,009 beträgt die Halbwertsdicke 77,02mm oder 0,07702m.

Ein Link zur kompletten Auswertung in Excel liegt im Anhang [A8] bei.

3. Schluss

3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Meine Fragestellung am Anfang war: Welches Material eignet sich am besten, um radioaktive Strahlung abzuschirmen?

Diese Frage kann ich nach dem Experiment klar beantworten. Von den mir zur Verfügung stehenden Materialien schirmt Blei am besten ab, Eisen am zweitbesten und Aluminium am schlechtesten. Das bestätigt den Fakt, dass Material einer höheren Ordnungszahl besser abschirmt. Blei hat eine Ordnungszahl von 82, Eisen hat eine Ordnungszahl von 26 und Aluminium hat eine Ordnungszahl von 13.

Die Frage, ob man γ -Strahlung überhaupt so gut wie α - und β -Strahlung abschirmen kann, lässt sich jetzt auch beantworten. Nein kann man nicht, denn γ -Strahlung wechselwirkt sehr

viel weniger mit Materie als die beiden anderen Strahlungsarten. Außerdem hat γ -Strahlung keine Ladung und wird nicht durch die Coulombkraft abgelenkt oder abgebremst.

Bei der Auswertung des Experiments sind folgende Halbwertsdicken und Absorptionskoeffizienten herausgekommen:

Material	Absorptionskoeffizient (γ -Strahlung)	Halbwertsdicke in mm
Blei	0,064 v 0,066	10,83 v 10,50
Eisen	0,043 v 0,042 v 0,041	16,12 v 16,50 v 16,91
Aluminium	0,009	77,02

Die Auswertung von Blei hat beim Experiment am besten funktioniert. Das lag daran, dass die Abschirmung mit Blei am ausführlichsten gemessen wurde. Bei Eisen und auch Aluminium gab es nicht genügend Messwerte um zwischen β - und γ -Strahlung zu differenzieren. Deshalb sind die Ergebnisse, gerade die für Aluminium, mit Vorsicht zu genießen.

3.2 Beurteilung der Experimentierweise

Das Experiment lief, meines Erachtens, gut. Nur ein Mal ist mir ein Fehler beim betätigen der Stoppuhr passiert, was aber nicht weiter schlimm war, weil ich den Messvorgang einfach wiederholt habe. Die Sicherheitsvorkehrungen waren gut abgeklärt mit Herr Dr. von Düsterlohe und ich wusste in jedem Moment wie ich mich verhalten sollte. Das einzige Problem war die Menge der Materialien zum Abschirmen und die Zeit. Mit mehr Material und Zeit, hätte die Auswertung von Aluminium viel besser werden können.

Natürlich ist bei einer manuellen Messung per Stoppuhr immer mit einem menschlichen Fehler zu rechnen, aber dieser war meiner Meinung nach nicht sehr groß, da ich den Knopf des Geiger-Müller Zählers und den der Stoppuhr gleichzeitig gedrückt habe um die Messungen zu starten und die Stoppuhr direkt, sobald das Display 750 counts angezeigt hat, gedrückt habe um die Messungen zu beenden. Auch dass es in der Auswertung, von Blei und Eisen, keinen großen Unterschied gemacht hat ob man manche Werte weggelassen hat spricht dafür, dass die Messungen immer gelungen sind. Der Aufbau des Experiments war sehr gut. Die Idee den Zähler in so eine Art Metalllineal einzuspannen war perfekt. Der

Zähler konnte überhaupt nicht verrutschen da er genauestens dort hineinpasste. Auch die radioaktive Quelle war dankt des Einsetzens von Herrn Dr. von Düsterlohe sicher und fest zwischen den Bleiklötzen eingeklemmt. Etwas, das man nicht bei der Fehlerrechnung beheben konnte, war die Totzeit des Geiger-Müller Zählers.

Ich habe mich zwar gerade über die fehlende Zeit beschwert, aber möchte mich trotzdem bei Herrn Dr. von Düsterlohe, welcher mich beim Experiment und der Facharbeit im Allgemeinen unterstützt hat, bedanken. Unbezahlt nach der Schule ein Experiment vorbereiten und mit seinen Schülern durchführen. Das macht nicht jeder Lehrer.

Auch Linus Emmerich möchte ich danken. Wir haben uns oft über unsere Facharbeiten ausgetauscht und gegenseitig geholfen.

3.3 eigene Beurteilung der Facharbeit

Ich bin ziemlich zufrieden mit meiner Facharbeit und finde, dass ein wirklich gelungenes Produkt dabei entstanden ist. Für einen ersten Versuch wissenschaftlicher Arbeit ist es ziemlich lang geworden und die anfänglich geforderten maximalen 10 Seiten sind nun zu weit über 40 geworden. Mit dem wissenschaftlichen Arbeiten hatte ich an sich kein Problem. Das Experimentieren hat wirklich Spaß gemacht und auch die sonstige Arbeit war nie langweilig. Dadurch, dass die Facharbeit jetzt so lang geworden ist, habe ich die Angst, dass der rote Faden irgendwo verloren geht. Ich habe versucht mich bei den theoretischen Betrachtungen der Zerfälle und Strahlung, sowie der Messung, so kurz wie möglich zu fassen. Vieles davon war von Herrn Dr. von Düsterlohe auch gefordert und ich wäre nicht drum herum gekommen diese zu Erläutern. Dinge wie die Bereinigung der Messwerte wurden im Teil „Statistik des radioaktiven Zerfalls“ schon zum Teil erklärt. Ansonsten hätte das mit in die Auswertung gemusst. Dadurch wäre mir die sowieso schon lange Auswertung zu lang geworden. Deshalb habe ich versucht einzelne Aspekte die in der Auswertung wieder relevant werden, zu differenzieren und mit anderen Aspekten die ich erklären musste zu verbinden.

Danke an meinen Vater, der die Facharbeit auf Rechtschreibfehler und Zeichensetzungsfehler geprüft hat.

4. Literaturverzeichnis

4.1 Internetquellen

- [I1] <https://www.ews-schoenau.de/energiewende-magazin/zur-sache/das-leid-der-liquidatoren-nach-tschernobyl/>
- [I2] [https://de.wikipedia.org/wiki/Hassium#:~:text=Hassium%20\(fr%C3%BCher%3A%20%E2%80%9EEka%2D,Periodensystem%20der%20Elemente%2C%20der%20Eisen%20gruppe.](https://de.wikipedia.org/wiki/Hassium#:~:text=Hassium%20(fr%C3%BCher%3A%20%E2%80%9EEka%2D,Periodensystem%20der%20Elemente%2C%20der%20Eisen%20gruppe.)
- [I3] <https://www.weltderphysik.de/gebiet/teilchen/hadronen-und-kernphysik/elemententstehung-und-erzeugung/entstehung-der-elemente/>
- [I4] <https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-einfuehrung/grundwissen/alphazerfall-und-alphastrahlung>
- [I5] <https://www.chemie.de/lexikon/images/math/e/d/d/edd31fbad2419df124fd11e29507b116.png>
- [I6] <https://www.youtube.com/watch?v=AbWnl2riGtU>
- [I7] [https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-einfuehrung/grundwissen/beta-minus-zerfall-und-beta-minus-strahlung#:~:text=Bei%20Beta%2DMinus%2DStrahlung%20handelt,ein%20Elektron%2DAntineutrino\)%20um.](https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-einfuehrung/grundwissen/beta-minus-zerfall-und-beta-minus-strahlung#:~:text=Bei%20Beta%2DMinus%2DStrahlung%20handelt,ein%20Elektron%2DAntineutrino)%20um.)
- [I8] https://www.youtube.com/watch?v=Y2U1G6Q3g9s&list=PLnRstJp8_H6cnWwZ6BY1POoh90DxM_YGK&index=5
- [I9] https://www.youtube.com/watch?v=81E6RigEWW0&list=PLnRstJp8_H6cnWwZ6BY1POoh90DxM_YGK&index=7
- [I10] <https://www.deutschlandfunk.de/neutrinos-haben-masse-100.html>
- [I11] <https://www.chemie.de/lexikon/images/math/9/e/2/9e204ec6fc719c6ac246ea4e30b953f2.png>
- [I12] https://physics.lakschool.com/de/themen/kernphysik_zerfallsreihe/images/nuklidkarte_zerfall.png
- [I13] <https://www.chemie.de/lexikon/Gammastrahlung.html#Entstehung>
- [I14] <https://de.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A4hlrohr>

[I15]<https://youtu.be/QvUaRFondz0>

[I16]<https://youtu.be/UUd5Pntt5IY>

[I17]https://www.youtube.com/watch?v=JBZlWW0C8lg&list=PLnRstJp8_H6cnWwZ6BY1POoh90DxM_YGK&index=28

[I18]<https://www.internetchemie.info/isotop.php?Kern=Ra-228>

[I19]<https://www.youtube.com/watch?v=mmDZQRPk4PM>

Letztes Zugriffsdatum der Quellen: 25.03.2023

4.2 Buchquellen

[Finke] **Finke**, Siegfried, Versuchsanleitung zum Anfänger-Praktikum in Physik, Dortmund 1990, Universität Dortmund Fachbereich Physik, 23. Auflage

[Grehn] **Grehn**, Joachim; **Krause**, Joachim, Metzler Physik, Braunschweig 1998, Schroedel, 3. Auflage

[Lautenschlager] **Lautenschlager**, Horst, Physik-KOMPAKT 1, München 2020, Stark Verlag

Erklärung:

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Facharbeit selbstständig angefertigt habe, keine anderen als die angegeben Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Ort, Datum, Unterschrift

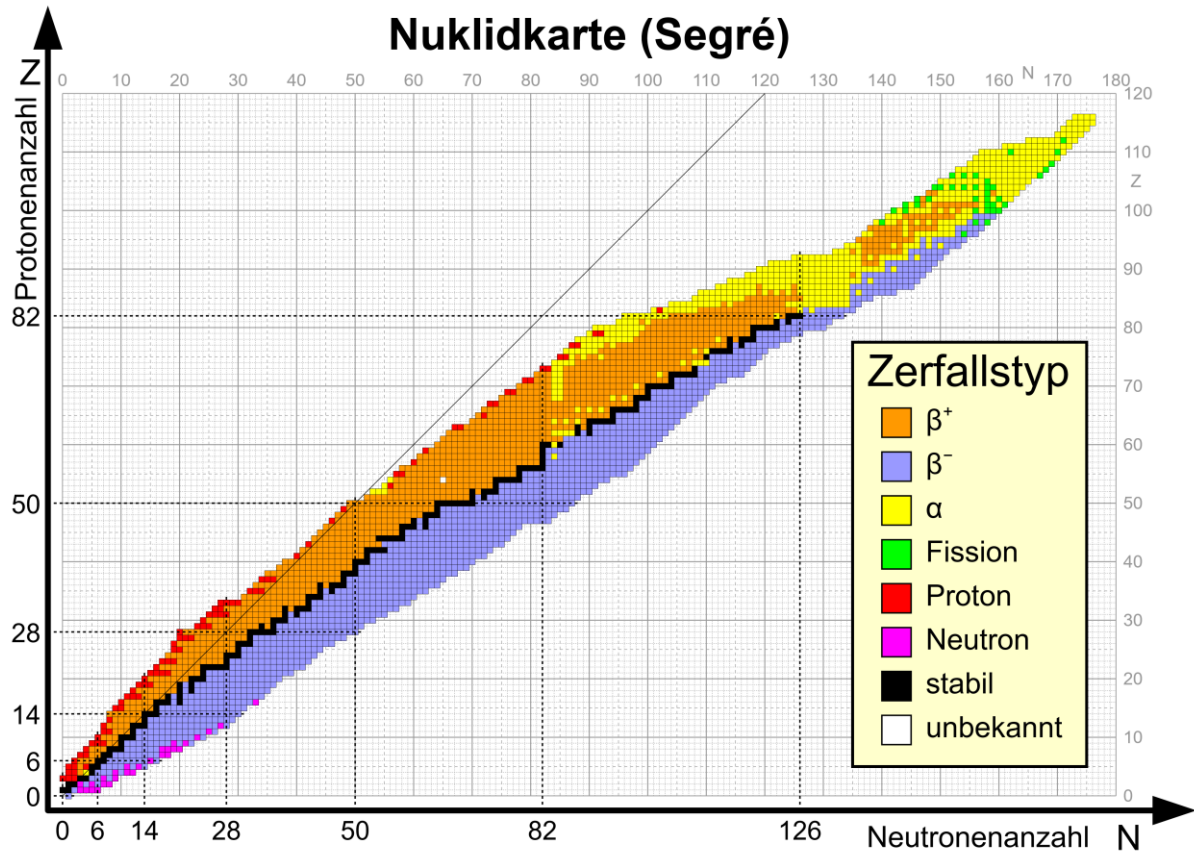
Einverständniserklärung:

Ich erkläre, dass ich mit einer schulinternen Öffentlichkeit der von mir verfassten Facharbeit einverstanden bin.

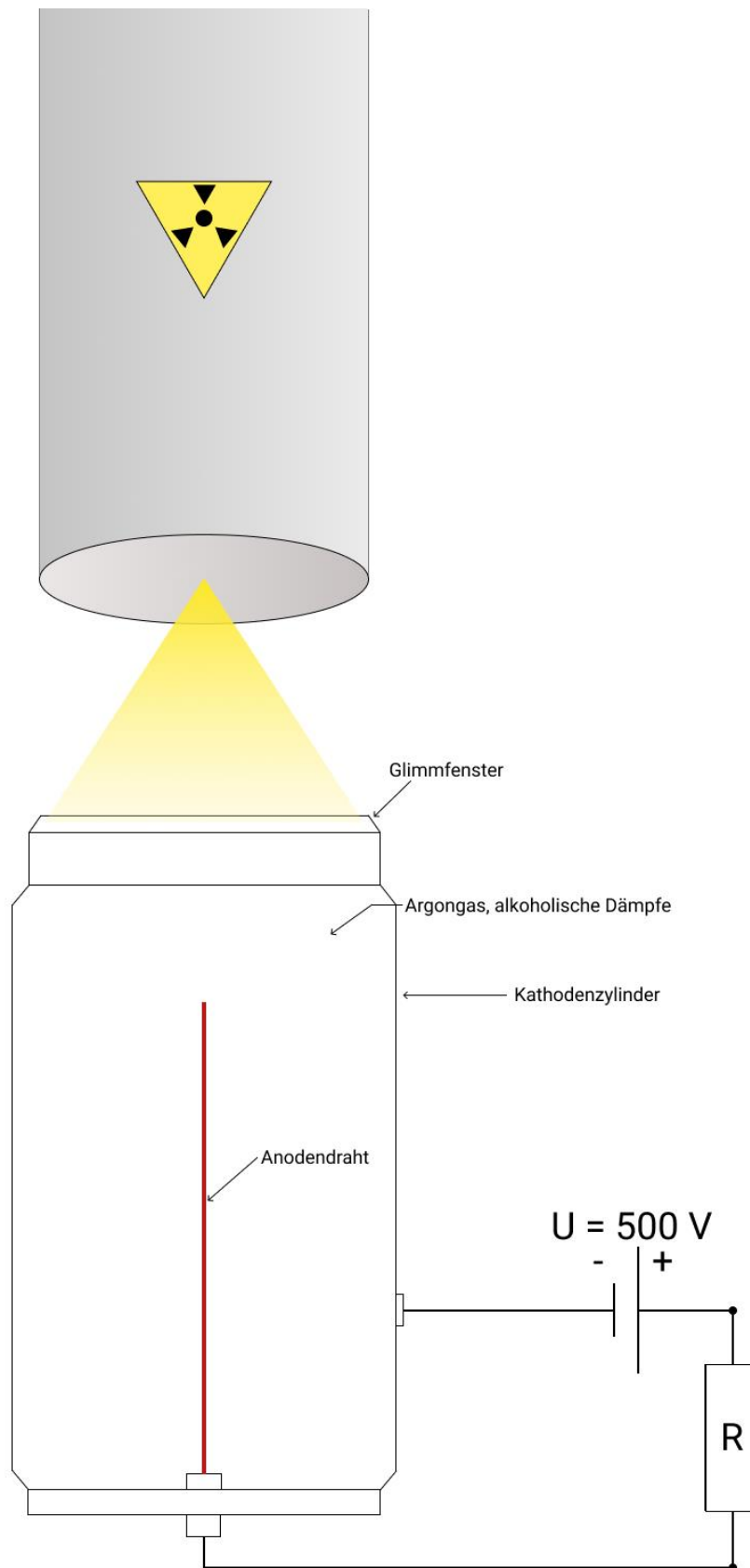
Ort, Datum, Unterschrift

5. Anhang

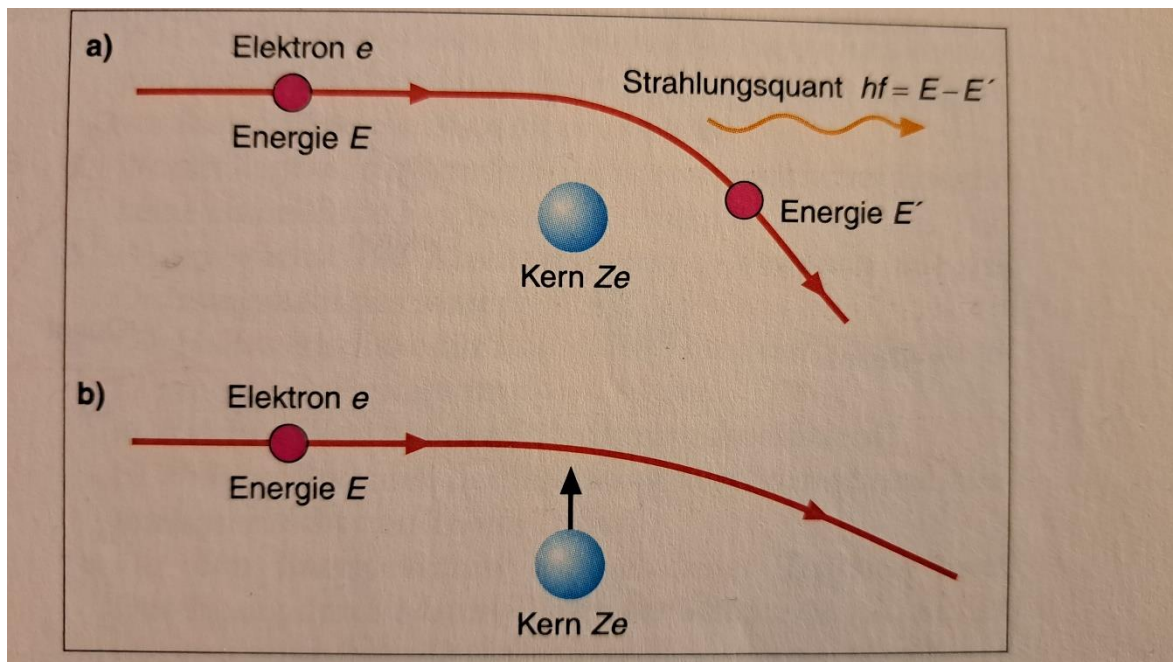
[A1] Waagrecht auf einer Linie liegende Kerne, nennt man Isotope, weil sie die gleiche Kernladungszahl haben. Isotone sind Kerne mit der gleichen Anzahl an Neutronen. Sie liegen auf einer senkrechten Linie auf der Nuklidkarte. Isobare sind Kerne mit gleicher Massenzahl. Sie liegen auf einer Gerade, mit der Steigung -1, auf der Nuklidkarte (hier nicht eingezeichnet). Beim β^- -Zerfall entstehen Isobare. [Lautenschlager]



[A2] Modellskizze eines Geiger-Müller Zählers mit vorgesetztem radioaktivem Präparat.
Selbstgefertigt mit dem Prototyping-Tool Figma.



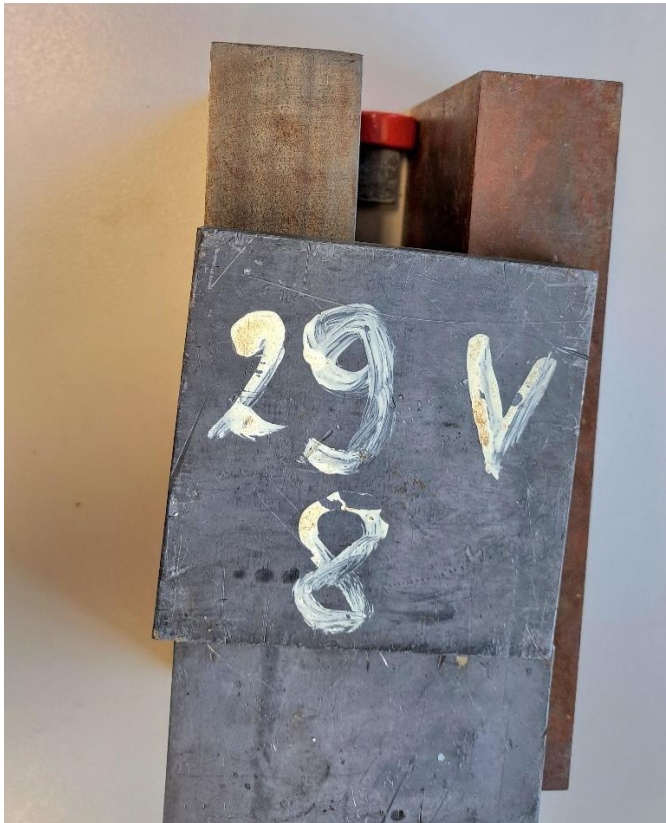
[A3] Bild der Wechselwirkung zwischen einem Elektron und einem Atomkern aus der Quelle [Grehn]. Oben ist die Unelastische Wechselwirkung dargestellt und unten die elastische Wechselwirkung.



[A4]



[A5]



[A6]



[A7]



[A8] Excel-Datei der Auswertung:

https://1drv.ms/x/s!Aoi5qqM_ubHzj1J-K_42mqdlNv1t