# IONISIERENDE STRAHLUNG

Praktikum für Naturwissenschaftler

1. MÄRZ 2019

NINA KÖDER, LAURA KLINGER
Gruppe 5, Medizintechnik

# Inhalt

1. Zielführung ..... 2
2. Versuchsaufbau ..... 2
3. Versuchsdurchführung ..... 2
4. Auswertung ..... 2
4.1. Bestimmung der Eindringtiefe von β-Strahlung und Abschwächung von γ-Strahlung in Aluminium ..... 2
4.1.1. Zählrate $n_{mess}$ und Korrektur der Zählrate ..... 3
4.1.2. ln($nin1$)-x-Diagramm ..... 3
4.1.3. Bestimmung $d_{\beta,max}$ durch Interpolation ..... 4
4.1.4. Massenschwächungskoeffizient $\mu\rho$ von Aluminium ..... 5
4.2. Vergleich der Nachweiswahrscheinlichkeit des Zählrohrs ..... 6
4.3. Bestimmung der Abschwächung von γ-Strahlung in Blei ..... 7
4.3.1. ln($nin1$)-x-Diagramm ..... 7
4.3.2. Halbwertsdicke $d_{1/2}$ durch Interpolation ..... 8
4.3.3. Schwächungskoeffizient μ und Massenschwächungskoeffizient $\mu\rho$ von Blei ..... 9
5. Fazit ..... 9
6. Anhang Messwerte ..... 10

# 1. Zielführung

Die Abschirmung Ionisierender Strahlung spielt selbst in unserem Alltag eine wichtige Rolle. Auch in der Medizintechnik kommt ionisierende Strahlung beispielsweise beim Röntgen vor, wobei es sehr wichtig ist die gefährliche Strahlung entsprechend durch z.B. Bleischürzen abzuschirmen. Somit ist es von großer Bedeutung ein grundlegendes Verständnis von Strahlung und ihrer Abschirmung zu haben.

In dem vorliegenden Versuch soll es darum gehen, die Abschirmung der β- und γ-Strahlung von Aluminium und Blei genauer zu untersuchen.

# 2. Versuchsaufbau

Für diesen Versuch verwenden wir ein Geiger-Müller-Zählrohr, das mit Cäsium-Gas gefüllt ist. An das Zählrohr wird eine Spannung von 500V angelegt.

# 3. Versuchsdurchführung

Zunächst soll die Triggerrate des Geiger-Müller-Zählrohrs experimentell bestimmt werden: Dazu verwenden wir eine Bleiprobe mit einer Dicke von 30mm und bestimmen bei einer Messung von 30 Sekunden die Triggerrate von 1,67 $s^{-1}$.

Um jetzt die Abschirmeigenschaften von Aluminium und Blei zu messen, werden nacheinander zehn verschieden dicke Materialproben in das Zählrohr gesteckt und dabei die ausgelösten Signale in einer bestimmten Zeit gemessen. Dabei beträgt die Zeitspanne bei Messungen von Aluminium ca. eine Minute, die Zeitspanne bei Messungen von Blei ca. zwei Minuten. Hierbei kann die Zeit t mithilfe einer Stoppuhr gemessen werden und die Anzahl N der ankommenden Signale von dem Detektor abgelesen werden.

# 4. Auswertung

## 4.1. Bestimmung der Eindringtiefe von β-Strahlung und Abschwächung von γ-Strahlung in Aluminium

Es werden nacheinander zehn verschieden dicke Aluminiumproben in das Zählrohr gesteckt, wobei jeweils die Zeit t und die Anzahl N der Ereignisse gemessen und dokumentiert werden.

### 4.1.1. Zählrate $n_{mess}$ und Korrektur der Zählrate

Die Zählrate $n_{mess}$ beschreibt die Anzahl der Ereignisse pro Zeit, wobei ein deutlicher Ausschlag beim Eintreffen eines Strahlungsquanten sichtbar wird.

$$n_{mess} = \frac{N_{mess}}{t} \qquad \text{(IS.5)}$$

Diese Zählrate $n_{mess}$ muss allerdings korrigiert werden, da folgendes Problem bei der Messung auftritt: Das Geiger-Müller-Zählrohr kann direkt nach einem Einschlag durch die erzeugten Ladungsträger kein Signal aufnehmen. Die dadurch erzeugte Spannungsänderung bzw. Feldbeeinflussung müssen weit genug abgeklungen sein, damit ein neues Signal aufgenommen werden kann. Diese Zeit wird Totzeit $\tau_0$ genannt und muss bei unserer Messung korrigiert werden, was durch die Formel IS.10 erfolgt.

$$n_{korr} = \frac{n_{mess}}{1 - n_{mess} \cdot \tau_0} \qquad \text{(IS.10)}$$

Somit ergeben sich durch Anwendung der Formeln folgende Werte:

| Dicke x in mm | Zeit t in s | Anzahl $N_{mess}$ | Zählrate $n_{mess}$ in $\frac{1}{s}$ | Korrigierte Zählrate $n_{korr}$ in $\frac{1}{s}$ |
|---|---|---|---|---|
| 0,1 | 59,06 | 22148 | 375,008 | 410,407 |
| 0,3 | 60,46 | 10377 | 171,634 | 171,634 |
| 0,5 | 60,05 | 4167 | 69,392 | 69,392 |
| 0,8 | 61,17 | 958 | 15,661 | 15,661 |
| 1,0 | 61,80 | 907 | 14,676 | 14,676 |
| 2,0 | 62,40 | 873 | 13,990 | 13,990 |
| 3,0 | 61,50 | 867 | 14,098 | 14,098 |
| 4,0 | 64,97 | 864 | 13,298 | 13,298 |
| 8,0 | 60,15 | 680 | 11,305 | 11,305 |
| 16,0 | 60,40 | 551 | 9,123 | 9,123 |

Tabelle 1: Abschirmung durch Aluminium

### 4.1.2. $\ln(\frac{n_i}{n_1})$-x-Diagramm

Die korrigierten Werte der Zählrate $\ln(\frac{n_i}{n_1})$ sollen jetzt gegen die Aluminiumdicke x aufgetragen werden.

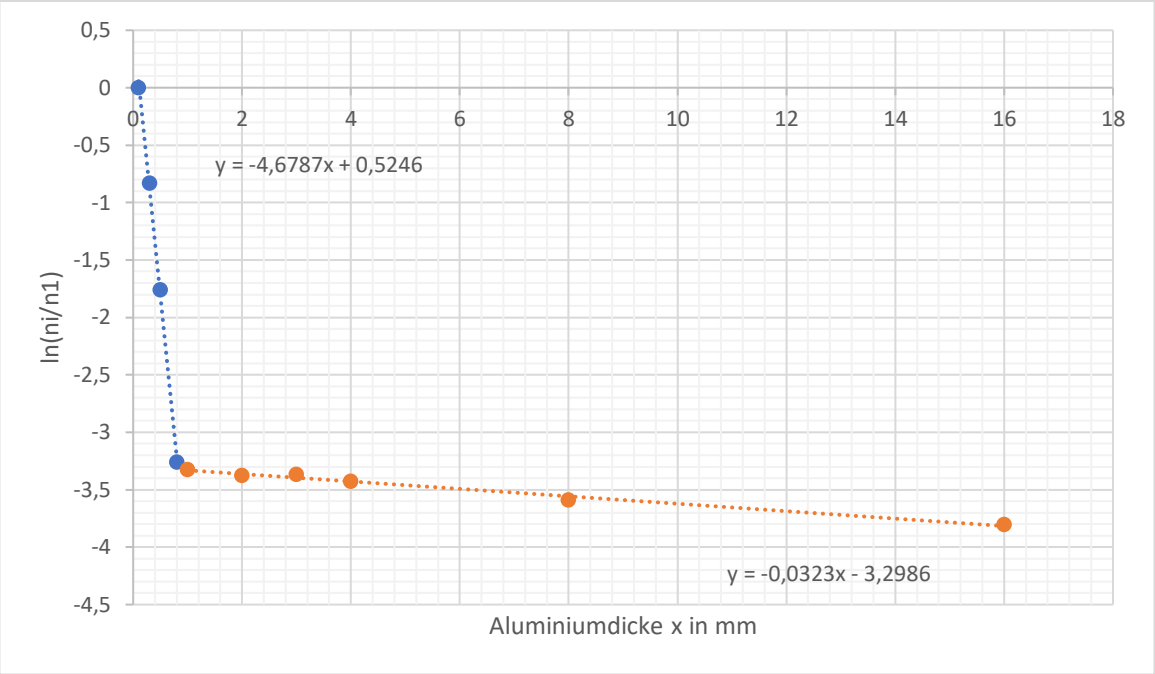



Abbildung 1: $\ln(\frac{n_i}{n_1})$ in Abhängigkeit der Aluminiumdicke x

Bei einer Aluminiumdicke von ca. 1mm ist ein deutlicher Knick in der Kurve aus Abbildung 1 erkennbar. Dies können wir damit erklären, dass ab einer gewissen Materialdicke keine β-Strahlung das Aluminium mehr durchdringen kann. Dennoch können noch Werte aufgezeichnet werden, die durch die schwächer aufgezeichnete γ-Strahlung zu Stande kommt. D.h. man kann sagen, dass die blaue Gerade die β-/γ-Strahlung und die orangene Gerade nur noch die γ-Strahlung beschreibt.

Allgemein kann man sagen, dass mit zunehmender Materialdicke x weniger Strahlung durch das Material dringen kann. Die Eindringtiefe der β-Strahlung bei Aluminium liegt bei ca. 0,8mm-1mm, was aus Abbildung 1 abgelesen werden kann.

Die orangene Kurve entspricht der schwächer wahrgenommenen γ-Strahlung, welche von dem Geiger-Müller-Zählrohr detektiert wird. Die γ-Strahlung als elektromagnetische Strahlung ionisiert effektiv nur sehr wenige Gasatome innerhalb des Geiger-Müller-Zählrohrs, wodurch es nicht zu der erwünschten Verstärkung des Signals kommt und diese Art der Strahlung dadurch nur schwach wahrgenommen werden kann.

### 4.1.3. Bestimmung $d_{\beta,max}$ durch Interpolation

Die maximale Schichtdicke $d_{\beta,max}$ entspricht der Materialdicke x, bei welcher 98% der Elektronen ihre Energie verloren haben. Diese Schichtdicke kann durch folgende Formel statistisch bestimmt werden, welche bei einer bestimmten Zählrate wie folgt definiert ist:

$$n(d_{\beta,max}) = \frac{1}{50} \cdot n_1 \qquad \text{(IS.6)}$$

Durch folgende Umformungen kann die Schichtdicke $d_{\beta,max}$ jetzt berechnet werden.

$f(d_{\beta,max}) = \ln(\frac{1}{50}) = m_1 \cdot d_{\beta,max} + c_1$

$m_1 \cdot d_{\beta,max} = \ln(\frac{1}{50}) - c_1$

$d_{\beta,max} = \frac{\ln(\frac{1}{50}) - c_1}{m_1}$

Man betrachtet zunächst die Funktionsgleichung der blauen Ausgleichsgeraden: $f(d_{\beta,max}) = -4{,}6787x + 0{,}5246$. Somit erhält man für die Steigung m der Geraden $m_1$=-4,6787 und für den Achsabschnitt der y-Achse $c_1$=0,5246.

Setzt man diese Werte in die Formel ein, erhält man für $d_{\beta,max}$ = 0,9483 mm, d.h. die maximale Schichtdicke beträgt ca. 0,95 mm.

### 4.1.4. Massenschwächungskoeffizient $\frac{\mu}{\rho}$ von Aluminium

Der Massenschwächungskoeffizient ist definiert als linearer Schwächungskoeffizient μ pro Dichte ρ. Dass für die Steigung der flacheren Geraden (orange) m = -μ gilt, kann man durch Umformungen der Gleichungen IS.4 und IS.7 zeigen:

$I = \frac{E_Q}{A} \cdot n$ (IS.4)

$\frac{I_i}{I_1} = \frac{\frac{n_i \cdot E_Q}{A}}{\frac{n_1 E_Q}{A}} = \frac{n_i}{n_1}$ mit den Konstanten $E_Q$ und A (1)

$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$ (IS.7)

$\frac{I_i}{I_1} = \frac{I_0 \cdot e^{-\mu x_i}}{I_0 \cdot e^{-\mu x_1}} = e^{-\mu(x_i - x_1)}$ mit Konstante $I_0$ (2)

Setzt man (1) = (2), erhält man folgende Lösung:

$\frac{n_i}{n_1} = e^{-\mu(x_i - x_1)}$

$\ln(\frac{n_i}{n_1}) = -\mu x_i - \mu x_1$ mit Konstante $-\mu x_1$

Daraus ergibt sich schließlich: $-\mu = \frac{\ln(\frac{n_i}{n_1})}{\mu x_i} = m$

Unter Verwendung der Dichte ρ von Aluminium mit $\rho_{Al} = 2{,}7 \frac{g}{cm^3}$ kann somit folgender Wert für den Masseschwächungskoeffizienten berechnet werden:

$\frac{\mu}{\rho} = -\frac{m}{\rho} = \frac{0{,}323 \frac{1}{cm}}{2{,}7 \frac{g}{cm^3}} = 0{,}1196 \frac{cm^2}{g}$

## 4.2. Vergleich der Nachweiswahrscheinlichkeit des Zählrohrs

Bei γ-Strahlung wird kaum ein Signal ausgelöst, da die γ-Strahlung als elektromagnetische Strahlung nur ungeladene γ-Quanten aussendet. Deshalb kann am Zählrohr kaum γ-Strahlung nachgewiesen werden, da das Geiger-Müller-Zählrohr nur für geladene Teilchen ein Ansprechvermögen von ca. 1 aufweist. Das ist der Grund, wieso die Zählung dieser γ-Quanten sehr ungenau ist.

Wir gehen bei der Berechnung der maximalen Anzahl der γ-Quanten davon aus, dass auf jeden Betazerfall des Cäsiums ein Gammaübergang des angeregten Tochterkerns folgt.

Die gesuchte maximale Zählrate von γ-Strahlung liegt bei einer Materialdicke von x=0mm, d.h. bei keiner Abschirmung. Die Gleichung lässt sich wie folgt aufstellen:

$\ln(\frac{n_{\gamma,max}}{n_1}) = m_2 \cdot 0 + c_2$ $\qquad c_2 = -3{,}2986$

$\frac{n_{\gamma,max}}{n_1} = e^{c_2}$

$n_{\gamma,max} = n_1 \cdot e^{c_2}$

$= 15{,}15831 \frac{1}{s}$

Die maximale Zählrate der beiden Strahlungen ergibt sich analog:

$n_{ges,max} = n_1 \cdot e^{c_1}$

$= 693{,}49844 \frac{1}{s}$

Somit kann die maximale Zählrate der β-Strahlung aus der Differenz der beiden errechneten Werte bestimmt werden:

$n_{\beta,max} = n_{ges,max} - n_{\gamma,max}$

$= 678{,}34014 \frac{1}{s}$

Die Nachweiswahrscheinlichkeit von γ-Strahlung ergibt sich wie folgt:

$\frac{n_{\gamma,max}}{n_{\beta,max}} = 0{,}02235 = 2{,}3\%$

Mit einer Nachweiswahrscheinlichkeit von ca. 2,3 % ist das Geiger-Müller-Zählrohr sehr ungenau bei einer Messung von γ-Strahlung. Dieses Ergebnis bestätigt auch unsere Annahme, dass die ungeladenen Photonen kaum aufgezeichnet werden können.

Im Gegensatz dazu ist das Geiger-Müller-Zählrohr sehr empfindlich auf β-Strahlung, welche mit einer Wahrscheinlichkeit von bis zu 100% nachgewiesen werden kann.

Somit folgern wir, dass dieses Verfahren nicht ausreichend genau für die Detektion von γ-Strahlung ist. Dafür sollte ein anderes Verfahren ausgewählt werden.

## 4.3. Bestimmung der Abschwächung von γ-Strahlung in Blei

Es werden nacheinander zehn verschieden dicke Bleiproben in das Zählrohr gesteckt, wobei jeweils die Zeit t und die Anzahl N der Ereignisse gemessen und dokumentiert werden.

Bei diesem Versuch kann die Totzeit vernachlässigt werden, da die Abschirmung der Strahlung bei Blei deutlich stärker ist, wodurch die Zeit zwischen zwei Ereignissen ausreichend groß ist.

### 4.3.1. $\ln(\frac{n_i}{n_1})$-x-Diagramm

Analog zu 4.1.2 wird aus den Messwerten die Zählrate berechnet, wobei auf eine Korrektur verzichtet werden kann.

Es ergeben sich daher folgende Werte:

| Dicke x in mm | Zeit t in s | Anzahl $N_{mess}$ | Zählrate $n_{mess}$ in $\frac{1}{s}$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 120,6 | 1867 | 15,481 |
| 2 | 121,52 | 1651 | 13,586 |
| 3 | 120,45 | 1490 | 12,370 |
| 4 | 120 | 1356 | 11,300 |
| 6 | 120,02 | 978 | 8,149 |
| 8 | 120,2 | 858 | 7,138 |
| 10 | 121,2 | 744 | 6,139 |
| 15 | 120,47 | 527 | 4,375 |
| 20 | 120 | 377 | 3,142 |
| 30 | 120,65 | 201 | 1,666 |

Tabelle 2: Abschirmung durch Blei

Daraus kann folgendes Diagramm erstellt werden:

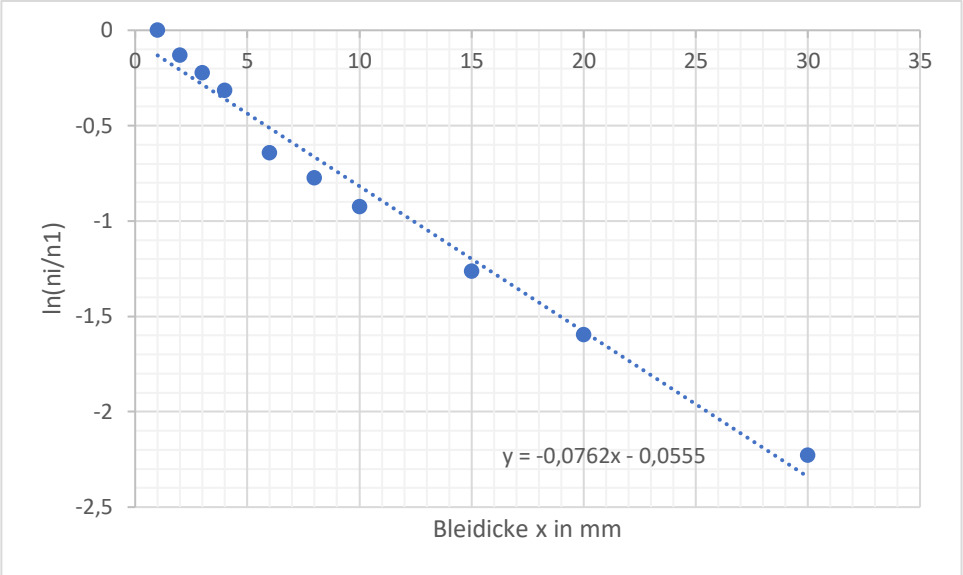



Abbildung 2: $\ln(\frac{n_i}{n_1})$ in Abhängigkeit der Bleidicke x

Die Gleichung der Ausgleichsgeraden durch die Messpunkte lautet hierbei:

$\ln(\frac{n_i}{n_1}) = -0{,}0762x - 0{,}0555$ (3)

## 4.3.2. Halbwertsdicke $d_{1/2}$ durch Interpolation

Die Halbwertsdicke $d_{1/2}$ entspricht der Dicke d des Bleis, bei welcher genau die Hälfte der Strahlung abgeschirmt werden kann. D.h. bei dieser Dicke ist die Zählrate genau bei der Hälfte des Anfangswertes $n_1$.

$$n(d_{1/2}) = \frac{1}{2} \cdot n_1$$

Setzt man dies in die Geradengleichung (3) der Abschirmung ein, erhält man folgendes Ergebnis:

$$\ln(\frac{\frac{1}{2} \cdot n_1}{n_1}) = -0{,}0762 \cdot d_{1/2} - 0{,}0555$$

$$d_{1/2} = \frac{\ln\left(\frac{1}{2}\right) + 0{,}0555}{-0{,}0762} = 8{,}3681 \text{ mm}$$

Somit beträgt die Halbwertsdicke von Blei, bei welcher die Intensität der Strahlung nur noch halb so groß ist, ca. 9,8 mm.

### 4.3.3. Schwächungskoeffizient μ und Massenschwächungskoeffizient $\frac{\mu}{\rho}$ von Blei

Der Schwächungskoeffizient μ von Blei kann analog zu 4.1.4 bestimmt werden. Dafür verwenden wir zunächst folgende Beziehung:

$$-\mu = m = 0{,}762\ \frac{1}{cm}$$

Der Massenschwächungskoeffizient $\frac{\mu}{\rho}$ ergibt sich auch analog zu 4.1.4, wofür wir hier die Dichte von Blei mit $\rho = 11{,}34\ \frac{g}{cm^3}$ verwenden.

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{0{,}762\ \frac{1}{cm}}{11{,}34\ \frac{g}{cm^3}} = 0{,}0671\ \frac{cm^2}{g}$$

## 5. Fazit

Durch die Auswertung unserer Messungen konnten wir erkennen, dass Blei ionisierende Strahlung besser abschirmen kann als Aluminium.

Außerdem konnten wir erkennen, dass das Geiger-Müller-Zählrohr aufgrund der Unempfindlichkeit gegenüber ungeladenen Teilchen nicht geeignet ist um γ-Strahlung aufzuzeichnen. Auch α-Strahlung kann von diesem Messgerät nicht aufgezeichnet werden, was daran liegt, dass diese Art der Strahlung schon vor Eintreffen in das Gas des Zählrohrs abgeschirmt wird.

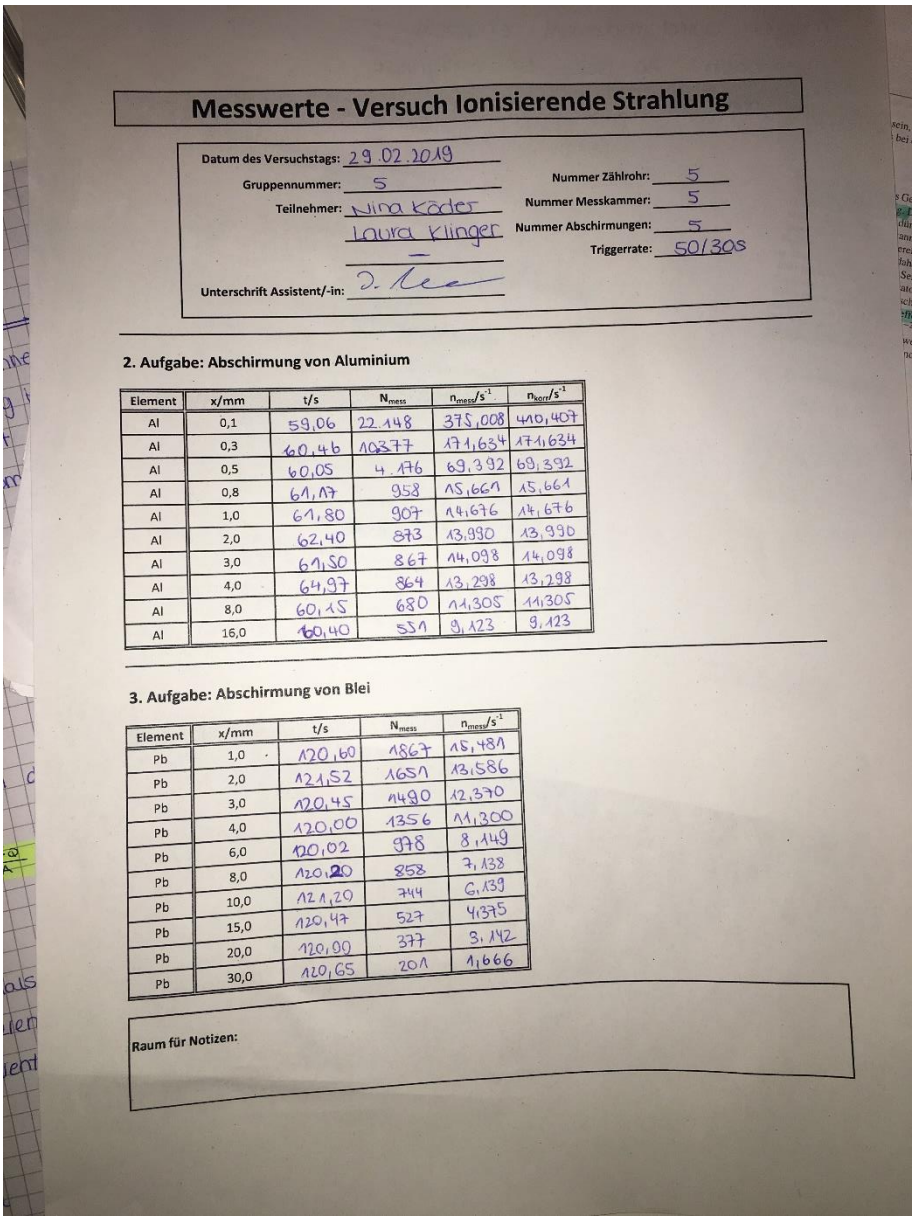
Bei unseren Messungen entstandene Ungenauigkeiten bzw. Fehler führen wir darauf zurück, dass zunächst das gleichzeitige Betätigen einer Stoppuhr und „Displayhold“ nicht immer exakt ausgeführt werden kann. Der für die Ungenauigkeiten bedeutsame Faktor ist allerdings die Tatsache, dass radioaktiver Zerfall ein zufälliger Prozess ist, welcher durch eine hohe Anzahl an Messungen nur statistisch vorausgesagt werden kann.

Vergleichen wir die von uns ermittelten Werte für die Schwächungskoeffizienten von Blei und Aluminium mit den Literaturwerten, wird eine deutliche Abweichung sichtbar:

| | | |
|---|---|---|
| Literaturwerte: | $\frac{\mu Al}{\rho} = 0{,}0564\ \frac{cm^2}{g}$ | $\frac{\mu Pb}{\rho} = 0{,}0732\ \frac{cm^2}{g}$ |
| Messwerte: | $\frac{\mu Al}{\rho} = 0{,}1196\ \frac{cm^2}{g}$ | $\frac{\mu Pb}{\rho} = 0{,}0671\ \frac{cm^2}{g}$ |

Die große Abweichung von den Werten für Aluminium können zudem damit erklärt werden, dass hier auch die Totzeit des Detektors mitberücksichtigt werden muss, welche auch nach Korrektur noch eine Unsicherheit darstellt.

# 6. Anhang Messwerte



**Messwerte - Versuch Ionisierende Strahlung**

Datum des Versuchstags: 29.02.2019
Gruppennummer: 5
Teilnehmer: Nina Käder, Laura Klinger
Unterschrift Assistent/-in: D. Lea

Nummer Zählrohr: 5
Nummer Messkammer: 5
Nummer Abschirmungen: 5
Triggerrate: 50/30s

**2. Aufgabe: Abschirmung von Aluminium**

| Element | x/mm | t/s | $N_{mess}$ | $n_{mess}/s^{-1}$ | $n_{korr}/s^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Al | 0,1 | 59,06 | 22.148 | 375,008 | 410,407 |
| Al | 0,3 | 60,46 | 10377 | 171,634 | 171,634 |
| Al | 0,5 | 60,05 | 4.176 | 69,392 | 69,392 |
| Al | 0,8 | 61,17 | 958 | 15,661 | 15,661 |
| Al | 1,0 | 61,80 | 907 | 14,676 | 14,676 |
| Al | 2,0 | 62,40 | 873 | 13,990 | 13,990 |
| Al | 3,0 | 61,50 | 867 | 14,098 | 14,098 |
| Al | 4,0 | 64,97 | 864 | 13,298 | 13,298 |
| Al | 8,0 | 60,15 | 680 | 11,305 | 11,305 |
| Al | 16,0 | 60,40 | 551 | 9,123 | 9,123 |

**3. Aufgabe: Abschirmung von Blei**

| Element | x/mm | t/s | $N_{mess}$ | $n_{mess}/s^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|
| Pb | 1,0 | 120,60 | 1867 | 15,481 |
| Pb | 2,0 | 121,52 | 1651 | 13,586 |
| Pb | 3,0 | 120,45 | 1490 | 12,370 |
| Pb | 4,0 | 120,00 | 1356 | 11,300 |
| Pb | 6,0 | 120,02 | 978 | 8,149 |
| Pb | 8,0 | 120,20 | 858 | 7,138 |
| Pb | 10,0 | 121,20 | 744 | 6,139 |
| Pb | 15,0 | 120,47 | 527 | 4,375 |
| Pb | 20,0 | 120,90 | 377 | 3,142 |
| Pb | 30,0 | 120,65 | 201 | 1,666 |

Raum für Notizen:

Abbildung 3: Messwerte Versuchstag