

VERSUCHSBERICHT ZU

A3 – ABSORPTION VON β - UND
 γ -STRAHLUNG

Gruppe Mi 11

Alex Oster(a_oste16@uni-muenster.de)
Jonathan Sigrist(j_sigr01@uni-muenster.de)

durchgeführt am 02.05.2018
betreut von Thorsten Adolphs

9. Mai 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	1
2	Methoden	1
2.1	Aufbau	1
2.2	Unsicherheiten	3
3	Durchführung und Datenanalyse	3
4	Diskussion	6
5	Schlussfolgerung	10
6	Anhang	11
6.1	Unsicherheitsrechnung	11
	Literatur	12

1 Kurzfassung

Dieser Bericht beschäftigt sich mit der Untersuchung der Absorption von β - und γ -Strahlung. Dazu wird zunächst das Geiger-Müller-Zählrohr betrachtet, welches zur Messung der radioaktiven Strahlung dient. Im Folgenden wird die Kennlinie des Zählrohrs aufgenommen, die natürliche Radioaktivität gemessen und die Absorptionskoeffizienten von Blei, Aluminium, Plexiglas und Gummi bestimmt. Zur Bestimmung der Koeffizienten werden die Zeiten gemessen, die für verschiedene Dicken an Absorptionsmaterial benötigt werden, um eine bestimmte Anzahl an Anregungen in dem Zählrohr zu erreichen. Bei dem Blei wird der γ -Strahler ^{137}Cs verwendet und für die restlichen Absorptionskoeffizienten, sowie auch zur Aufnahme der Zählrohrcharakteristik der β -Strahler ^{90}Sr . Ziel dieser Untersuchung ist die Aufnahme einer den Erwartungen entsprechenden Zählrohrcharakteristik, sowie die Übereinstimmung der ermittelten Absorptionskoeffizienten mit den Literaturwerten.

Die Ergebnisse stimmen weitgehend mit den Zielen der Untersuchung überein. Für die aufgenommene Zählrohrcharakteristik ist der zu erwartende Verlauf zu erkennen und der Massenabsorptionskoeffizient von Blei weicht lediglich um 9,4% von dem Literaturwert ab. Bei dem Aluminium ist dies mit einer Abweichung von 82,1% jedoch nicht der Fall. An dieser Stelle versagt die Untersuchung.

2 Methoden

Dieser Abschnitt befasst sich mit dem Aufbau des Versuches und den dabei auftretenden Unsicherheiten.

2.1 Aufbau

Der Aufbau, wie er in in Abb. 1 dargestellt ist, besteht im Wesentlichen aus einem Geiger-Müller-Zählrohr (1) mit zugehöriger Messapparatur (2) und einem radioaktiven Präparat, welches in geringem Abstand (wenige Zentimeter) von dem Zählrohr steht. Bei

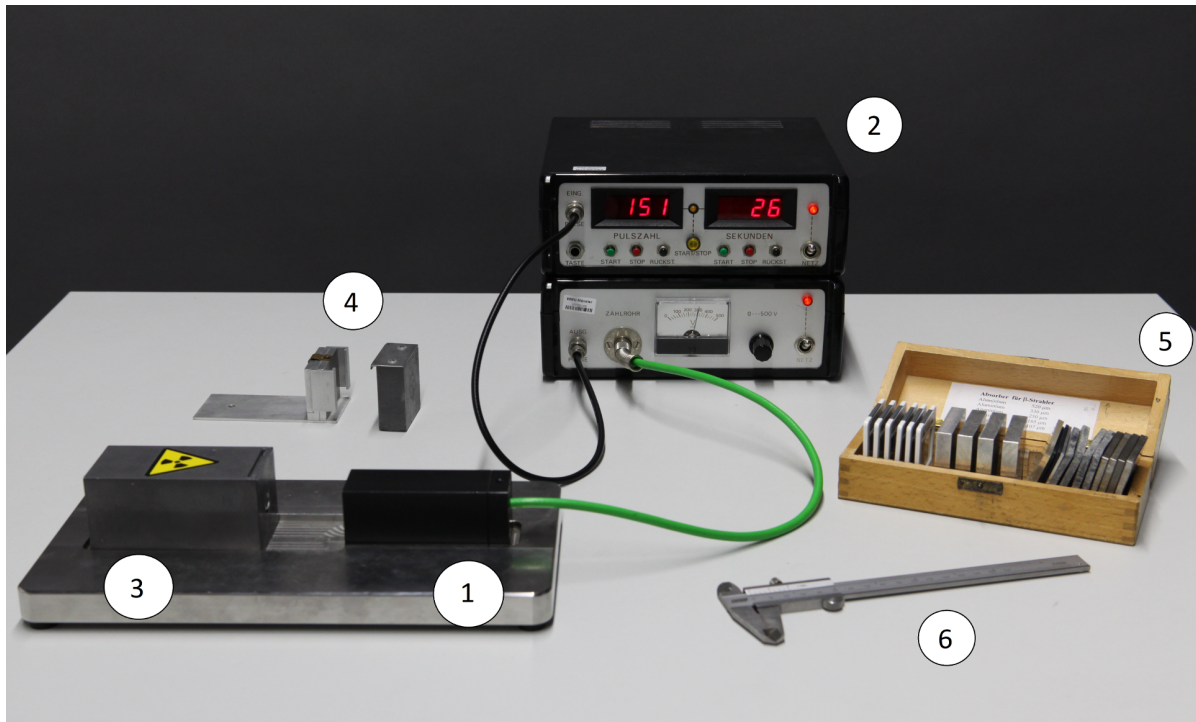


Abbildung 1: Aufbau des Versuches.[1]

den verwendeten radioaktiven Präparaten handelt es sich um den β -Strahler ^{90}Sr (4) und den γ -Strahler ^{137}Cs (3). Zwischen dem Zählrohr und das Präparat können kleine Platten aus Absorbermaterialien (5) platziert werden, sodass eine Messung der Impulsrate in Abhängigkeit der Dicke des Absorbers möglich ist. Zur Messung der Dicke der Platten steht eine Schiebelehre (6) zur Verfügung.

Mit Hilfe der Messapparatur die an das Zählrohr geschlossen ist, lassen sich die Anzahl der Impulse bzw. radioaktiven Ereignissen wie auch die vergangene Zeit einfach von einem Digitaldisplay ablesen. Zudem lässt sich dort durch einen Drehregler die Betriebsspannung des Zählrohres einstellen.

Zur Messung der natürlichen Strahlung wird das Präparat, welches vor dem Zählrohr platziert ist, entfernt.

2.2 Unsicherheiten

Jegliche Unsicherheiten werden nach GUM bestimmt und berechnet¹. Für die Unsicherheitsrechnungen wurde die Python Bibliothek „uncertainties“ herangezogen, welche den Richtlinien des GUM folgt.

Für digitale Messungen wird eine Unsicherheit von $u(X) = \frac{\Delta X}{\sqrt{3}}$ angenommen, bei analogen eine von $u(X) = \frac{\Delta X}{\sqrt{6}}$.

- Mit Hilfe des analogen Voltmeters an der Messapparatur konnte die Betriebsspannung mit $\Delta U = 25 \text{ V}$ eingestellt werden.
- Die Zeit wurde mit einem digitalen Sekundenzähler aufgenommen. Dadurch ergibt sich $\Delta T = 1 \text{ s}$.
- Die Dicken der einzelnen Absorberplatten wurden, soweit möglich, mit einer Schieblehre nachgemessen. Diese hatte eine Unsicherheitsangabe von $\Delta d = 0,05 \text{ mm}$. Die Dicken aller dünnen Aluminiumfolien konnten durch die Schieblehre nicht erfasst werden. Für diese wird eine Unsicherheit von $\Delta d = 0,5 \mu\text{m}$ angenommen.

3 Durchführung und Datenanalyse

Die Zeit bzw. die Zahl der Ereignisse wurde bei allen Messungen so gewählt, dass die relative Unsicherheit unter 4%, für alle Messwerte liegt. Das Wechseln oder Entfernen der radioaktiven Präparate wurde von dem Betreuer durchgeführt.

Zur Bestimmung der Zählrohrcharakteristik wurde der β -Strahler ^{90}Sr verwendet und für verschiedene Spannungen die Anzahl der Ereignisse nach $(94,0 \pm 0,2) \text{ s}$ aufgetragen. Eine Darstellung der Messwerte ist der Abb. 2 zu entnehmen. Diese Kennlinie zeigt, dass zur Messung der Radioaktivität mindestens eine Spannung von $\approx (275,0 \pm 7,2) \text{ V}$ anliegen muss, diese nennt sich Einsatzspannung. Auch das charakteristische Plateau nach dem Erreichen dieser Spannung ist der Kurve zu entnehmen. Zudem ließen sich nur Werte bis zu $(500,0 \pm 7,2) \text{ V}$ einstellen, da höhere Spannungen zur Beschädigung oder gar Zerstörung des Zählrohrs führen könnten.

¹Die Gleichungen dazu finden sich im Anhang unter 8, 9.

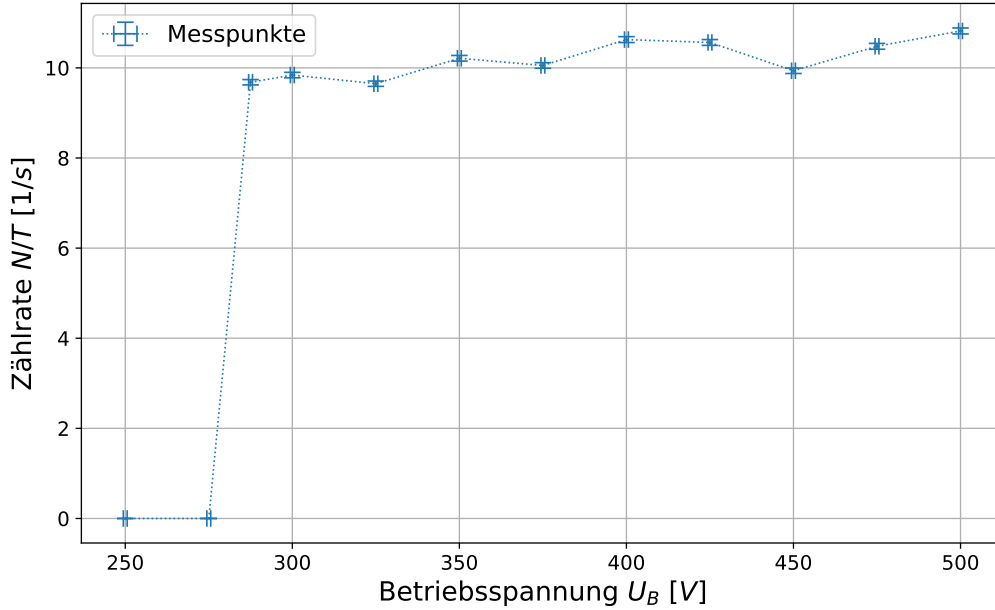


Abbildung 2: Impulsrate in Abhängigkeit der Spannung am Zählrohr bzw. Zählrohrcharakteristik.

Zur Messung der natürlichen Radioaktivität wurde das radioaktive Präparat entfernt und 200 mal die Anzahl der Ereignisse innerhalb von 10 s aufgenommen. Aus dieser Verteilung folgen der Mittelwert von $(0,2929 \pm 0,0014)$ Bq und die empirische Standardabweichung von $(0,1745 \pm 0,0021)$ Bq. Diagramme der absoluten und relativen Häufigkeitsverteilung sind in Abb. 3 und Abb. 4 vorzufinden. Zur Berechnung der Kurve über der relativen Häufigkeitsverteilung wurde die Poisson-Verteilung herangezogen:

$$\psi(N) = \frac{\bar{N}^N \cdot e^{-\bar{N}}}{N!}, \quad N = \text{Anzahl der Impulse}, \bar{N} = \langle N \rangle. \quad (3.1)$$

Mit Hilfe der mittleren Untergrundaktivität, die aus der natürlichen Radioaktivität hervorgegangen ist, wurde für die folgenden Messungen eine Korrektur durchgeführt.

Zur Bestimmung des Absorptionskoeffizienten μ_γ von Blei wurde die Impulsrate $a_\gamma(x)$ des γ -Präparats ^{137}Cs in Abhängigkeit der Schichtdicke des Blei-Absorbers aufgenommen. Hierbei wurde die Zeit gemessen, die benötigt wurde um ca. 650 Ereignisse in

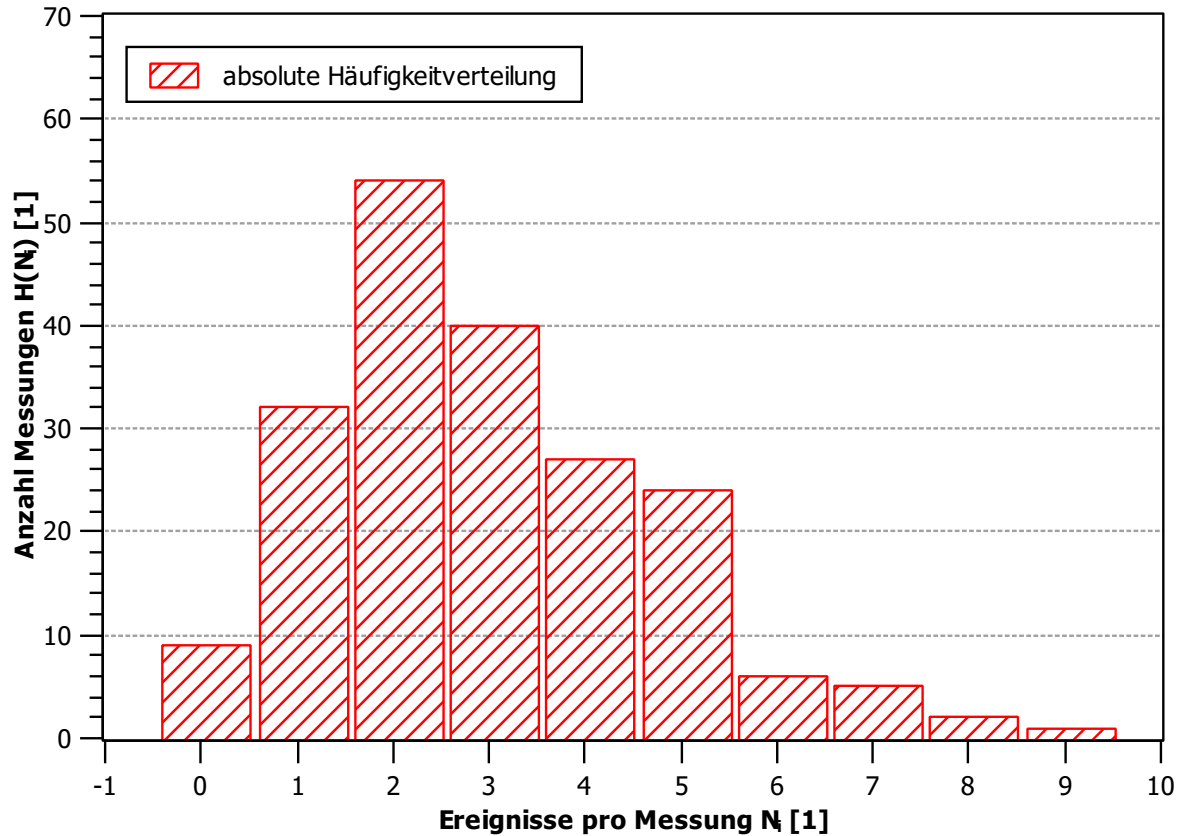


Abbildung 3: Histogramm der absoluten Häufigkeitsverteilung der natürlichen Strahlung.

dem Zählrohr auszulösen, um die Impulsrate mit einer relativen Unsicherheit unter 4% aufzunehmen. Zusätzlich wurde die Spannung an dem Zählrohr so gewählt, dass sie mit $(400,0 \pm 7,2)$ V ca. 125 V über der Einsatzspannung, mitten auf dem Plateau der Zählrohrcharakteristik liegt. Nach jeder Messreihe wurde eine weitere Platte hinzugefügt und eine neue Reihe gestartet, sodass die Impulsrate in Abhängigkeit der Schichtdicke aufgetragen werden konnte. Dazu standen vier Blei-Platten zur Verfügung. Abb. 5 stellt das Verhältnis logarithmisch aufgetragen dar. Da es sich bei steigender Schichtdicke um einen exponentiellen Abfall der Ereignisse handeln sollte ($N(x) = N_0 e^{-\mu x}$), lässt sich der Absorptionskoeffizient aus der Steigung des Graphen bestimmen. Dieser Koeffizient und der Massenabsorptionskoeffizient, der sich durch teilen ersteren durch die Dichte des Bleis ergibt sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

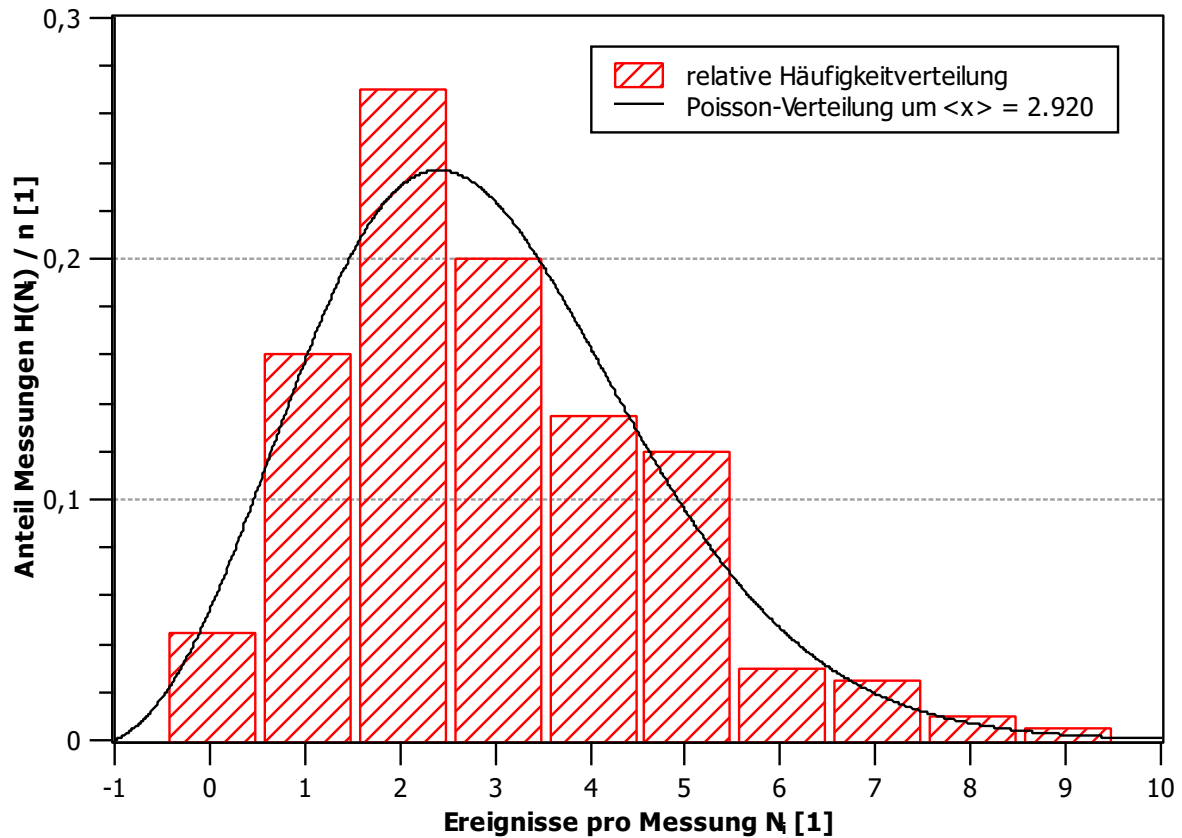


Abbildung 4: Histogramm der relativen Häufigkeitsverteilung der natürlichen Strahlung mit Poisson-Verteilung.

Analog verlief die Messung der Impulsraten $a_\beta(x)$ des β -Präparats ^{90}Sr in Abhängigkeit der Schichtdicken von Aluminium, Plexiglas und Gummi. Für die letzteren beiden, wurde die Messung jedoch nur für je eine Schicht durchgeführt. Eine graphische Darstellung der Messung ist in den Abb. 6 und 7 vorzufinden. Die sich dadurch berechneten Koeffizienten sind ebenso in Tab. 1 verzeichnet.

4 Diskussion

Nun stellt sich die Frage, ob die Ergebnisse dem Ziel dieser Untersuchung genügen.

Wird dazu zunächst die aufgenommene Zählrohrcharakteristik betrachtet, so lässt sich

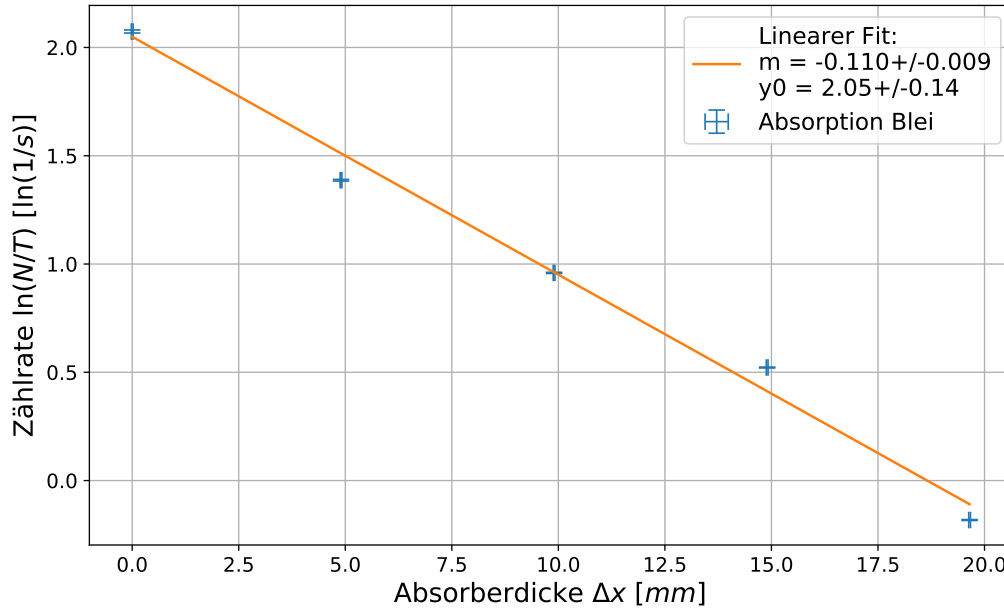


Abbildung 5: Impulsrate in Abhängigkeit der Schichtdicke des Bleis. Dabei gilt für die Steigung des Fits $m = -\mu_\gamma$.

der zu erwartende Verlauf klar in dieser erkennen. Bis zur Einsatzspannung werden keine Impulses gemessen und die Werte, welche auf dem Plateau vorzufinden sind, liegen alle auf einer Ebene und weichen nur gering voneinander ab.

Das Histogramm der relativen Häufigkeitsverteilung der natürlichen Strahlung zeigt, dass die Verteilung sich in guter Näherung durch die Poisson-Verteilung bestimmen lässt, da der Verlauf der Poisson-Kurve, um den Mittelwert von 2,92 Impulsen pro zehn Sekunden, das Histogramm nahezu lückenlos einschließt. Nur am Erwartungswert selber

Tabelle 1: In dieser Tabelle sind die ermittelten Absorptions- und Massenabsorptionskoeffizienten aufgetragen. Zu letzteren sind zusätzlich Literaturwerte angegeben.[2][3]

	Blei (μ_γ)	Aluminium (μ_β)	Plexiglas (μ_β)	Gummi (μ_β)
μ (1/cm)	$1,10 \pm 0,09$	$16,4 \pm 1,0$	$1,81 \pm 0,12$	$1,57 \pm 0,25$
μ_m (cm ² /g)	$(9,7 \pm 0,8) \cdot 10^{-2}$	$6,08 \pm 0,35$	$1,95 \pm 0,13$	$1,69 \pm 0,27$
$\mu_{m,Lit}$ (cm ² /g)	$8,870 \cdot 10^{-2}$	33,99		
Abweichung	9,4%	82.1%		

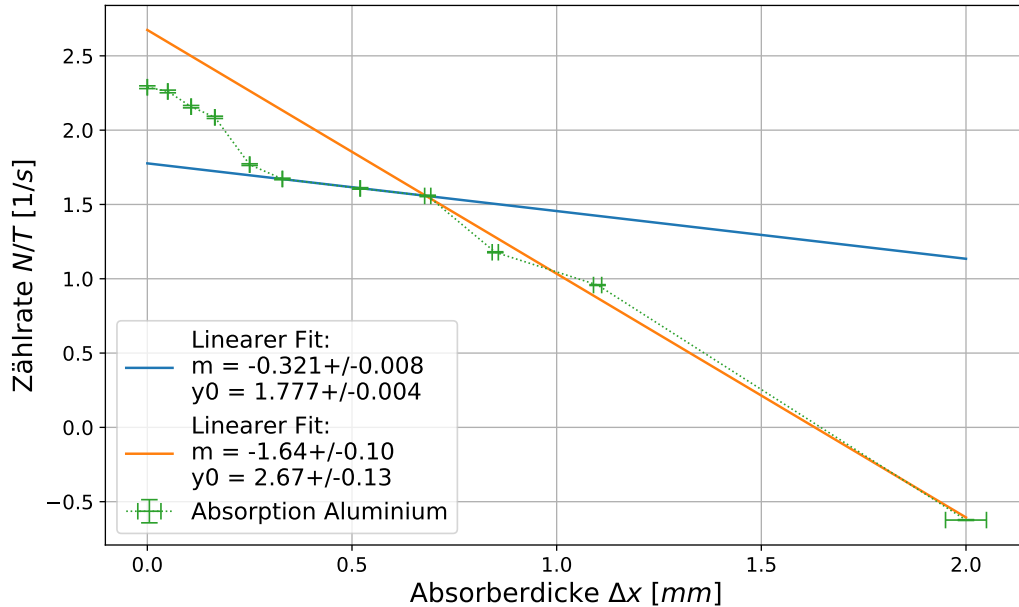


Abbildung 6: Impulsrate in Abhängigkeit der Schichtdicken von Aluminium. Hier wurden zwei mögliche Steigungen dargestellt, für die weitere Auswertung wurde jedoch nur die Steigung des orangefarbenen Fits betrachtet.

hebt sich das Histogramm etwas von der Kurve ab, dies ist jedoch zu vernachlässigen.

Vergleicht man nun die Ergebnisse der Absorption, so erkennt man zunächst, dass die Messung der Impulsrate in Abhängigkeit der Schichtdicke des Bleis in etwa mit den Erwartungen übereinstimmt. Es ließ sich bei logarithmischer Auftragung der Messwerte eine Gerade mit negativer Steigung durch die Messpunkte legen, was für den exponentiellen Abfall der Impulsrate spricht. Der aus dieser Steigung entstehende Absorptionskoeffizient führte durch teilen durch die Dichte des Bleis zu einem Massenabsorptionskoeffizienten, der sich mit der Literatur vergleichen lässt. Bei dem Literaturwert handelt es sich um den, auf dem Energiespektrum der ^{137}Cs - γ -Strahlung, der am stärksten mit dem ermittelten Wert übereinstimmt. Der Vergleich zeigt eine Abweichung von 9,4%, was in grober Näherung dem Literaturwert entspricht.

Bei dem Aluminium zeigt bereits die Messkurve, dass sich kein „passender“ linearer Fit finden konnte. Auch der Massenabsorptionskoeffizient der näher an dem Literaturwert liegt, weicht um 82,1% von diesem ab. Hier kann keine Übereinstimmung mit der Literatur

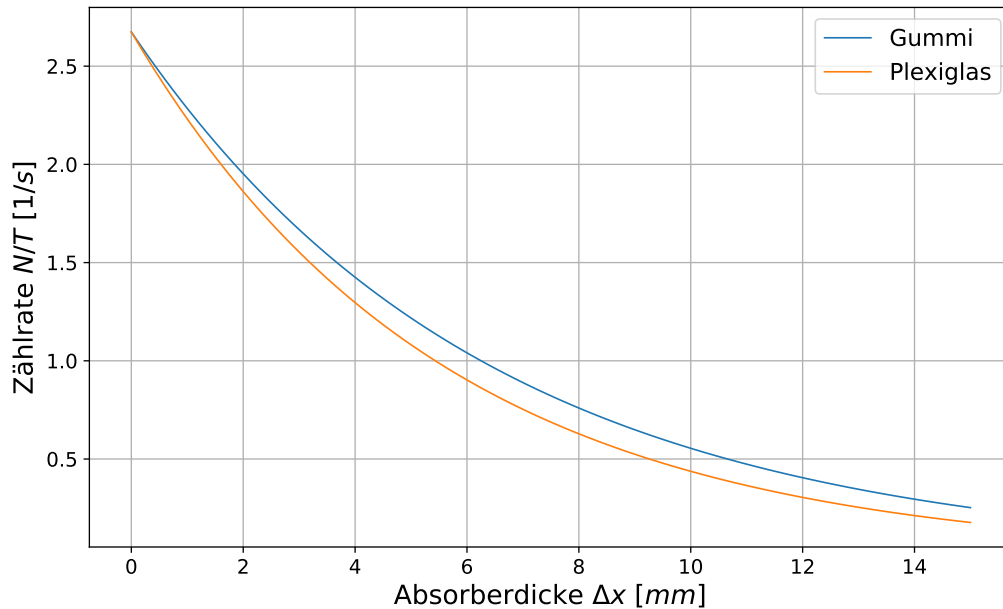


Abbildung 7: Impulsrate in Abhängigkeit der Schichtdicken von Plexiglas und Gummi.

gefunden werden, da diese Abweichung zu groß ist.

Für das Plexiglas und Gummi ließen sich keine Literaturwerte finden. Zudem wurden für die Bestimmung der Absorptionskoeffizienten nur je zwei Messpunkte herangezogen. Aus diesen lässt sich zumindest erkennen, dass das Plexiglas die β -Strahlung besser absorbiert als Gummi.

Würde Blei als Absorber für die β -Strahlung gewählt, so wären vermutlich keine Impulse neben denen der natürlichen Strahlung gemessen worden, was aus der Dichte von Blei und der bereits starken Absorption von deutlich mehr durchdringender γ -Strahlung hervorgeht.

5 Schlussfolgerung

Die Ziele dieser Untersuchung der Absorption von β - und γ -Strahlung wurden weitgehend erreicht. Für die Zählrohrcharakteristik, die natürliche Strahlung und Blei als Absorber von γ -Strahlung ließen zufriedenstellende Ergebnisse ermitteln, die in guter Näherung mit den Erwartungen übereinstimmen. Hingegen bei den hier betrachteten β -Absorbern, insbesondere des Aluminiums sind keine genauen Aussagen zu treffen. Eine Wiederholung des ganzen Versuches ist deswegen nicht nötig, wobei zumindest eine erneute Untersuchung des Aluminiums sinnvoll erscheint. Für eine bessere Messung dazu, würde es sich anbieten mehr Messpunkte aufzunehmen und bei diesen ebenfalls mehrere Messungen durchführen, sodass ein genaueres Mittel über die Messwerte vorliegen würde.

6 Anhang

6.1 Unsicherheitsrechnung

$$x = \sum_{i=1}^N x_i; \quad u(x) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u(x_i)^2}$$

Abbildung 8: Formel für kombinierte Unsicherheiten des selben Typs nach GUM.

$$f = f(x_1, \dots, x_N); \quad u(f) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right)^2}$$

Abbildung 9: Formel für sich fortpflanzende Unsicherheiten nach GUM.

Literatur

- [1] WWU Münster. *A3 - Absorption von radioaktiver Strahlung*. URL: <https://sso.uni-muenster.de/LearnWeb/learnweb2/course/view.php?id=28561§ion=29> (besucht am 08.05.2018).
- [2] NIST. *X-Ray Mass Attenuation Coefficients*. URL: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ElemTab/z82.html> (besucht am 08.05.2018).
- [3] Abdual H. G. Mardan Sabah M. aman Allah yassen H. Mahmoud und Abdual H. shakour. *Mass absorption coefficients and range of multi –energetic beta particles for some elements: comparative study*. phy. Dep., college of sciences –Tikrit Uni., 2015, S. 22–23.