

VERSUCHSBERICHT ZU

A3 - ABSORPTION VON BETA- UND
GAMMA-STRAHLUNG

Gruppe 14Mo

Alexander Neuwirth (E-Mail: a_neuw01@wwu.de)
Leonhard Segger (E-Mail: l_segg03@uni-muenster.de)

durchgeführt am 07.05.2018
betreut von
Johann Preuß

13. Mai 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	3
2	Methoden	3
3	Ergebnisse und Diskussion	4
3.1	Beobachtung und Datenanalyse	4
3.1.1	Unsicherheiten	4
3.1.2	Zählrohrcharakteristik	4
3.1.3	Untergrundpulse	4
3.1.4	Absorption von γ -Strahlung durch Blei	5
3.1.5	Absorption von β -Strahlung	6
3.2	Diskussion	8
3.2.1	Absorption von γ -Strahlung durch Blei	8
3.2.2	Absorption von β -Strahlung	8
4	Schlussfolgerung	9

1 Kurzfassung

In diesem Versuch wurde die Absorption von Beta- und Gammastrahlung untersucht. Dazu wurde der Zusammenhang zwischen Schichtdicke eines Absorbers, Art der Strahlung des Präparats und Impulsrate betrachtet. Zunächst wurde die Zählrohrcharakteristik bestimmt, die, wie erwartet wurde, einen starken Anstieg der Impulsrate ab einer bestimmten Spannung und ein darauf folgendes Plateau enthält. Es wurde erwartet, dass die Menge der Impulse durch Untergrundstrahlung in einem festen Zeitintervall Poisson-verteilt ist. Dies konnte gezeigt werden. Für die Absorption von γ -Strahlung durch Blei war eine exponentielle Abnahme der Impulsrate mit der Schichtdicke des Absorbers zu erwarten. Dies ließ sich experimentell nachweisen. Es wurde ein Massenabsorptionskoeffizient von Blei von $\mu_{\gamma,m} = (0,0978 \pm 0,0035) \text{ cm}^2/\text{g}$ bestimmt und mithilfe eines Literaturwertes konnte die Größenordnung des Messwerts bestätigt werden. Bei der Absorption von β -Strahlung war gemäß der Einführung eine exponentielle Abnahme nur für bestimmte Schichtdicken zu erwarten. [2] Die Hypothese war hier, dass die gemessenen Schichtdicken von 0 bis 215 μm Teil dieser bestimmten Schichtdicken sind, was der experimentelle Befund bestätigte. Hier wurde ein Massenabsorptionskoeffizient von Aluminium von $\mu_{\beta,m} = (7,2 \pm 1,1) \text{ cm}^2/\text{g}$ Außerdem wurde die Absorption von β -Strahlung durch Gummi und Plexiglas untersucht.

2 Methoden

Der Versuchsaufbau bestand aus einem Geiger-Müller-Zählrohr, das an ein Betriebsgerät angeschlossen war. Vor das Glimmerfenster des Zählrohrs konnten nun verschiedene radioaktive Präparate installiert werden und unterschiedliche Absorber zwischen Präparat und Zählrohr gebracht werden.

Zunächst wurde die Charakteristik des Geiger-Müller-Zählrohres bestimmt, um die folgenden Untersuchungen im Plateaubereich der Zählrohrkennlinie durchführen zu können. Dazu wurde die Impulsrate des Zählrohrs mit β -Präparat bei steigender Zählrohrspannung bestimmt. Begonnen wurde hier unmittelbar unter der Einsatzspannung. Die folgenden Messungen wurden bei einer Betriebsspannung ca. 100 V über der Einsatzspannung durchgeführt.

Dann wurde, um die mittlere Untergrundaktivität zu bestimmen, 200 mal die Zahl der Untergrundimpulse in 10 s gemessen. Anschließend wurde die Impulsrate des γ -Präparats mit zunehmender Schichtdicke des Blei-Absorbers gemessen und die Impulsrate des β -Präparats mit zunehmender Aluminium-Absorber-Dicke. Zuletzt wurde noch die Impulsrate des β -Präparats mit Plexiglas- und Gummiabsorber bei konstanter Schichtdicke bestimmt.

Hierbei wurden jeweils mindestens 1111 Impulse gemessen, um die relative Unsicherheit unter 3% zu halten. Die Betriebsspannung wurde vom Betriebsgerät abgelesen und nicht mit einem externen Voltmeter überprüft.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Beobachtung und Datenanalyse

3.1.1 Unsicherheiten

Die Unsicherheit der Betriebsspannung des Geiger-Müller-Zählrohrs beträgt 3 V (dreieckige WDF). Die Zählzeit wurde in Sekunden auf einer Digitalanzeige gestoppt, wodurch sich eine Unsicherheit von 0,6 s ergibt (rechteckige WDF). Wie in Abschnitt 2 beschrieben ist die relative Unsicherheit der Impulsmessungen kleiner 3%. Die Bestimmung der Dicke der Absorber aus Blei hat eine Unsicherheit von 0,12 mm, die sich zusammensetzt aus der Genauigkeit des Messschiebers und dem Fehler durch die ungleichmäßige Oberfläche des Materials.

3.1.2 Zählrohrcharakteristik

In Abb. 1 ist die Impulsrate gegen die Zählrohrspannung aufgetragen. Bei (313 ± 7) V steigt die Impulsrate abrupt von 0 auf 9 Impulse pro Sekunde und ändert sich danach nur noch unwesentlich.

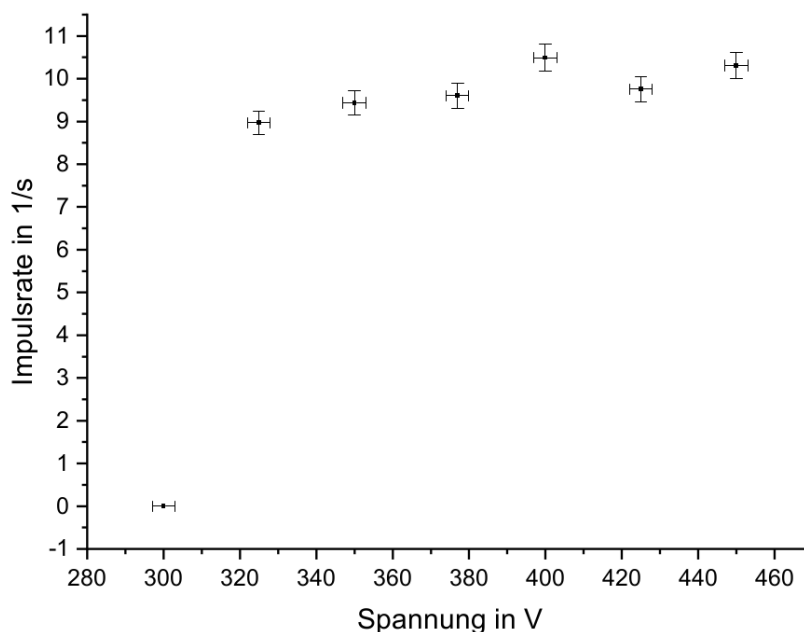


Abbildung 1: Aufgenommene Zählrohrcharakteristik unter Verwendung eines β -Präparats.

3.1.3 Untergrundpulse

Die Messung der Untergrundimpulse über 200 mal 10 Sekunden ergab einen Mittelwert von 2,685 Impulsen und eine Standardabweichung von 1,519. In Abb. 2 sind die absolute und die relative Häufigkeitsverteilung dargestellt. Da sich die Ordinatenwerte lediglich

um einen Faktor von 200 unterscheiden, lässt sich an der linken Achse die absolute und an der rechten die relative Häufigkeit ablesen. Des Weiteren ist in Abb. 2 die Poisson-Verteilung für $\bar{N} = 2,685$ abgebildet.

$$\psi(N) = \frac{\bar{N}^N \cdot e^{(-\bar{N})}}{N!} \quad (1)$$

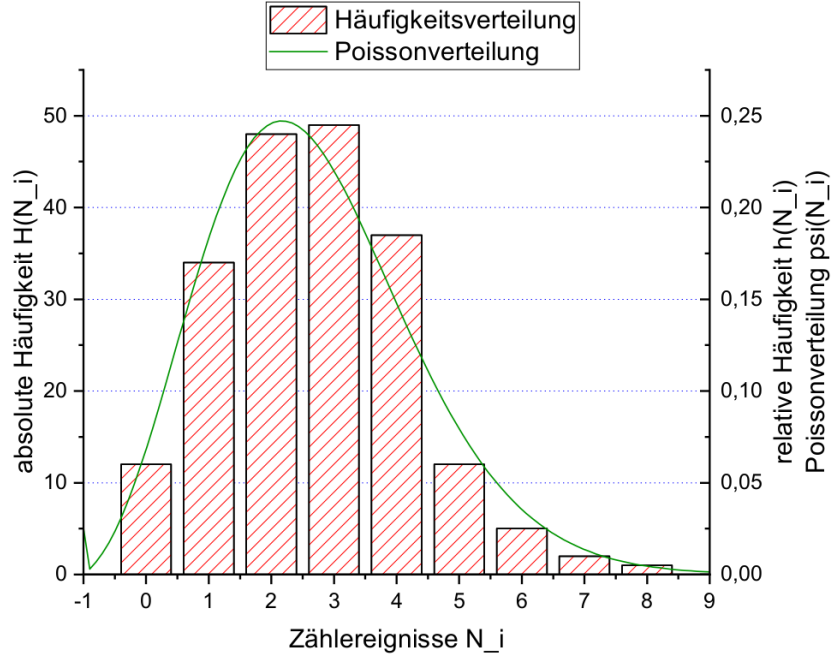


Abbildung 2: Aufgenommene absolute und relative Häufigkeitsverteilung der Untergrundpulse. Außerdem ist die durch deren Mittelwert festgelegte Poisson-Verteilung abgebildet.

3.1.4 Absorption von γ -Strahlung durch Blei

In Abb. 3 ist die Zählrate des γ -Präparats ^{137}Cs logarithmisch gegen die Breite des Bleis aufgetragen. Von der gemessenen Zählrate wurde die mittlere Untergrundaktivität 0,2685 Bq abgezogen. Aus der Einführung ist bekannt, dass die Absorption von γ -Strahlung exponentiell zur Dicke ist. Dabei:

$$a_\gamma(x) = a_{\gamma,0} \cdot \exp(-\mu_\gamma x) = a_{\gamma,0} \cdot \exp(-\mu_{\gamma,m} \rho x) \quad (2)$$

Deshalb kann man bei einer logarithmischen Zählrate von einem linearen Zusammenhang zur Breite des Absorbers ausgehen. Entsprechend enthält Abb. 3 einen linearen Fit, aus dessen Steigung der Absorptionskoeffizient μ_γ bestimmt werden kann. Aus $\mu_\gamma = (1,11 \pm 0,04) \text{ cm}^{-1}$ und der Dichte von Blei $\rho = 11,34 \text{ g/cm}^3$ folgt ein Massenabsorptionskoeffizient $\mu_{\gamma,m} = (0,0978 \pm 0,0035) \text{ cm}^2/\text{g}$. [3] Die Absorptionskoeffizienten hängen

von der Strahlungsenergie ab. Die hier bestimmten μ wurden bei einer γ -Strahlung mit einer Energie von ca. 0,66 MeV gemessen.

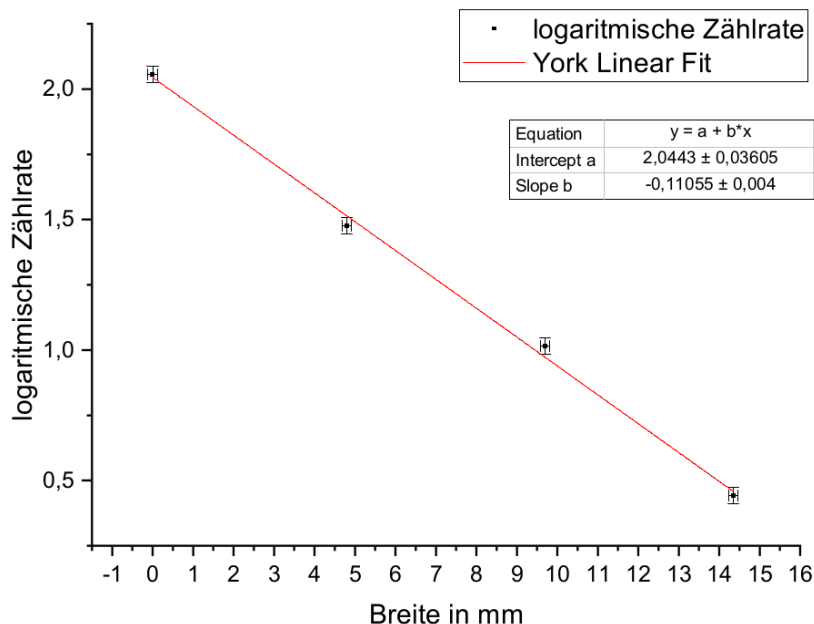


Abbildung 3: Die Impulsrate ist logarithmisch gegen die Bleischichtdicke aufgetragen. Als γ -Präparat wurde ^{137}Cs verwendet.

3.1.5 Absorption von β -Strahlung

Für die folgenden Rechnungen wurde wie in Abschnitt 3.1.4 beschrieben die Untergrundkorrektur durchgeführt.

Aluminiumabsorber

Analog zu Abschnitt 3.1.4 lassen sich aus Abb. 4 Absorptions- und Massenabsorptionskoeffizient bestimmen. Die exponentielle Näherung lässt sich auf den gesamten Bereich anwenden, da hier die logarithmische Zählrate linear zur Breite ist. Es ergeben sich $\mu_\beta = (19,5 \pm 3,1) \text{ cm}^{-1}$ und $\mu_{\beta,m} = (7,2 \pm 1,1) \text{ cm}^2/\text{g}$. [3]

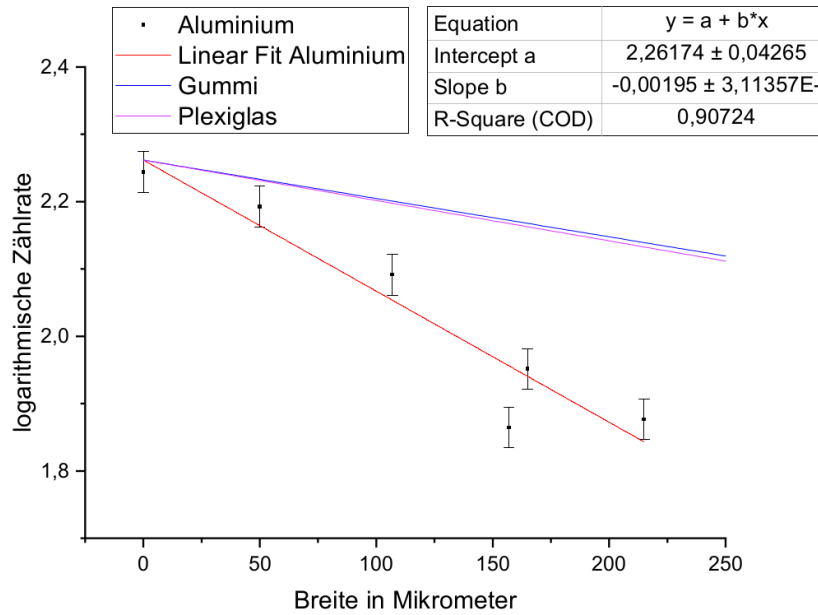


Abbildung 4: Die Impulsrate ist logarithmisch gegen die Dicke des Absorbers aufgetragen. ^{90}Sr diente als β -Präparat. Für das Aluminium wurden mehrere Messpunkte verwendet und ein linearer Fit ausgeführt. Für Gummi und Plexiglas wurde aus jeweils einem Messpunkt und der Zählrate ohne Absorber die Steigung der Geraden bestimmt.

Einer der Messwerte befindet sich recht weit vom linearen Fit entfernt.

Gummi- und Plexiglasabsorber

Der Absorptionskoeffizient μ_β lässt sich analog zu μ_γ aus Gleichung (2) durch Umformen bestimmen.

$$\mu_\beta = \frac{\ln\left(\frac{a_{\beta,0}}{a_\beta(x)}\right)}{x} \quad (3)$$

$$u(\mu_\beta) = \sqrt{\left(\frac{u(a_{\beta,0})}{a_{\beta,0}x}\right)^2 + \left(\frac{u(a_\beta(x))}{a_\beta(x)x}\right)^2 + \left(\frac{\mu_\beta u(x)}{x}\right)^2} \quad (4)$$

In Tabelle 1 sind die jeweiligen Parameter von Gummi und Plexiglas sowie das resultierende μ_β aufgeführt. Das $a_{\beta,0}$ beträgt $(9,43 \pm 0,29)$ Bq. In Abb. 4 sind die Geraden für Gummi und Plexiglas mit dem jeweiligen μ_β dargestellt.

Tabelle 1: Aus Breite x und Impulsrate $a_\beta(x)$ berechneter Absorptionskoeffizient von Gummi und Plexiglas.

	Gummi	Plexiglas
x	$(2,00 \pm 0,12) \text{ mm}$	$(4,00 \pm 0,12) \text{ mm}$
$a_\beta(x)$	$(3,02 \pm 0,09) \text{ Bq}$	$(0,84 \pm 0,03) \text{ Bq}$
μ_β	$(5,7 \pm 0,4) \text{ cm}^{-1}$	$(6,0 \pm 0,2) \text{ cm}^{-1}$

3.2 Diskussion

Es ist ersichtlich, dass die Einsatzspannung des Zählrohrs zwischen 300 und 325 V liegt. Auch das für Zählrohrkennlinien typische Plateau ist in Abb. 1 deutlich erkennbar. Der starke Anstieg vor dem Plateau konnte nicht aufgelöst werden und das Betriebsgerät verhinderte eine Erhöhung der Spannung auf Werte, die eine selbstständige Gasentladung zur Folge hätten.

Die Annahme, dass das Auftragen der Häufigkeit gegen die Zählereignisse der Untergrundimpulse einer Poisson-Verteilung entspricht, ließ sich bestätigen, wie in Abb. 2 deutlich zu erkennen ist.

3.2.1 Absorption von γ -Strahlung durch Blei

Literaturwerte geben für Strahlung mit $E = 0,6 \text{ MeV}$ ein $\mu_{\gamma,m} = 0,125 \text{ cm}^2/\text{g}$ an (vgl.[1]). Dies deckt sich zwar nicht vollständig mit dem Messwert von $\mu_{\gamma,m} = (0,0978 \pm 0,0035) \text{ cm}^2/\text{g}$, aber dieser wurde auch nicht exakt bei $E = 0,6 \text{ MeV}$ (sondern bei $0,66 \text{ MeV}$) gemessen. Es lässt sich also zumindest die Größenordnung des Messwerts bestätigen.

3.2.2 Absorption von β -Strahlung

Das verwendete β -Präparat ^{90}Sr zerfällt mit $E_{\beta,\max} = 0,55 \text{ MeV}$ in ^{90}Y , welches mit $E_{\beta,\max} = 2,28 \text{ MeV}$ in ^{90}Zr übergeht ([2]). Die Strahlung beider Zerfälle überlagert sich, jedoch überwiegt der Anteil des Tochternuklids ^{90}Y . Mithilfe der empirische Bleuler-Formel lässt sich die Reichweite der Elektronen abschätzen:

$$R_{\beta,\max} \approx \frac{5,71 \cdot E_{\beta,\max} - 1,61}{\rho} \quad (5)$$

Wobei $E_{\beta,\max}$ in MeV und ρ in kg/m^3 einzusetzen sind. Mit $E_{\beta,\max} = 0,55 \text{ MeV}$ und $\rho = 2,7 \text{ g}/\text{cm}^3$ folgt eine Maximale Reichweite von ca. $550 \mu\text{m}$.

Aluminiumabsorber

Aus dem linearen Zusammenhang in der logarithmischen Darstellung lässt sich erkennen, dass nur einer der Zerfälle einen messbaren Einfluss auf die Zerfallskurve hat, da sich ansonsten eine Überlagerung zweier Geraden unterschiedlicher Steigung in unterschiedlichen Bereichen der Schichtdicke ergeben hätte. Dies liegt vermutlich daran, dass

sich das Präparat selbst nicht an der Oberfläche des Präparathalters, sondern hinter eine Abdeckung befand, die die niederenergetischen Elektronen des Strontiumzerfalls nicht durchdringen konnten. Insofern lässt sich erkennen, dass die Hypothese des näherungsweise exponentiellen Zusammenhangs im Messbereich von 0 bis 215 μm bestätigt werden kann.

Dass einer der Messwerte vom linearen Fit abweicht, lässt sich nur durch die stochastische Natur des Zerfallsprozesses und der Absorption erklären und der Fit liegt innerhalb der doppelten Unsicherheit des Messwerts.

Dass Gummi und Plexiglas einen geringeren Absorptionskoeffizienten als Aluminium haben, war aufgrund der geringeren Dichte zu erwarten.

Würde man Blei als Absorber für die β -Strahlung wählen, wäre ein deutlich stärkerer Abfall der Impulsrate mit der Schichtdicke und eine geringere maximale Reichweite (Gleichung (5)) zu erwarten, da Blei eine höhere Dichte hat. Abhängig von der Schichtdicke wäre auch der exponentielle Abfall nicht mehr nachweisbar.

4 Schlussfolgerung

Es ließen sich die Hypothesen im Wesentlichen bestätigen. Die Zählrohrcharakteristik zeigte den erwarteten Verlauf, nur der erneute Anstieg nach dem Plateau ließ sich nicht nachweisen, aber dies würde eine Zerstörung des Geiger-Müller-Zählrohrs nach sich ziehen, weshalb dieser Teil der Charakteristik schwer messbar ist. Die Untergrundstrahlung zeigte die erwartete Poisson-Verteilung bei der häufigen Messung kurzer Zeitintervalle. Auch die exponentielle Abnahme der Impulsrate von γ -Strahlung mit der Schichtdicke ließ sich zeigen und der daraus folgende Absorptionskoeffizient lag in der Größenordnung des Literaturwerts.

Für die Untersuchung des β -Zerfalls wäre das Wissen, ob sich das Präparat auf der Oberfläche des Probenhalters oder hinter einer dünnen Abschirmung befindet, wichtig gewesen. Daraus, dass die Messergebnisse keine Überlagerung aus zwei Zerfällen unterschiedlicher Energien zeigten, lässt sich allerdings die begründete Vermutung ableiten, dass sich das Präparat in der Tat nicht direkt auf der Oberfläche befand.

Hätte man beim β -Zerfall Schichtdicken, die größer als 550 μm (nach Gleichung (5)) sind, gewählt, wären Elektronen aus dem energieärmeren Zerfall vollständig absorbiert worden, sodass man keine Überlagerung aus zwei Zerfällen in Betracht ziehen müsste.

Literatur

- [1] J. H. Hubbell und S. M. Seltzer. *Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV for Elements $Z = 1$ to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest**. URL: <https://www.nist.gov/pml/x-ray-mass-attenuation-coefficients> (besucht am 13.05.2018).

- [2] WWU Münster. *Absorption von β - und γ -Strahlung Einführung*. URL: https://sso.uni-muenster.de/LearnWeb/learnweb2/pluginfile.php/1334795/mod_resource/content/1/Absorption_von_Beta-und_Gamma-Strahlung_Einf.pdf (besucht am 13.05.2018).
- [3] *Periodensystem der Elemente, Dichte von Aluminium und Blei*. URL: <http://www.chemie.de/lexikon/> (besucht am 13.05.2018).