

V704 Absorption von γ - und β -Strahlung

Katharina Brägelmann Tobias Janßen
katharina.braegelmann@tu-dortmund.de
tobias2.janssen@tu-dortmund.de

Durchführung: 21. Mai 2018, Abgabe: 28. Mai 2018

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 γ -Strahlung	3
2.1.1 Photo-Effekt	4
2.1.2 Compton-Effekt	4
2.1.3 Paarerzeugung	4
2.2 β -Strahlung	5
2.2.1 Elastische Streuung am Atomkern	6
2.2.2 Inelastische Streuung am Atomkern	6
2.2.3 inelastische Streuung an Elektronen	7
3 Aufbau und Durchführung	8
4 Auswertung	9
4.1 Absorption von γ -Strahlung	9
4.2 Absorption von β -Strahlung	12
5 Diskussion	14

1 Zielsetzung

In diesem Experiment wird die Wechselwirkung energetischer Strahlung mit Materie untersucht. Als Strahlung werden γ - und β -Strahlen verwendet. Mit der γ -Strahlung wird der Absorptionskoeffizient von Blei und Eisen überprüft. Die Absorption der β -Strahlung wird benutzt um die maximale Emissionsenergie des ^{99}Tc -Strahlers zu messen.

2 Theorie

Treffen γ - oder β -Strahlen auf Materie, so treten in der Materie Wechselwirkungen auf, die zur Abschwächung der Intensität des einfallenden Strahls führen. Um wechselwirken zu können müssen die Strahlen auf Atome treffen, welche als Zielscheibe vereinfacht werden. Der Wirkungsquerschnitt kann als Fläche der Zielscheibe angesehen werden und ist somit ein Ausdruck der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Wechselwirkungen. Die Anzahl der Wechselwirkungen kann als

$$N = N_0 n D \sigma$$

angegeben werden. Dabei ist D die Dicke des Materials, n die Anzahl der Materienteilchen pro Volumeneinheit und N_0 die Anzahl der Teilchen die pro Zeiteinheit auf das Material treffen. Die Intensität der Strahlung fällt im Material exponentiell ab.

$$N(D) = N_0 \cdot e^{-n_\sigma D} \quad (1)$$

Der Absorptionskoeffizient n_σ wird meist als μ abgekürzt. $n(D)$ beschreibt die Anzahl der zu messenden Aktivität nach der entsprechenden Dicke. Die Ausgangsaktivität wird mit N_0 betitelt, während n die Anzahl der Teilchen im Absorber pro Volumen beschreibt. n wird folgendermaßen berechnet

$$n = \frac{z N_A}{V_{\text{Mol}}} = \frac{z N_A \rho}{M}$$

z ist dabei die Ordnungszahl, N_A die Avogadro-Konstante und V_{Mol} das Molvolumen. Das molekulargewicht wird als M abgekürzt und die Dichte als ρ . Im Falle der β -Strahlung gilt das Absorptionsgesetz nur für kleine Dicken.

2.1 γ -Strahlung

Ein γ -Quant wird emittiert, wenn ein angeregter Atomkern in einen energetisch niedrigeren Zustand wechselt. Die Energieniveaus sind diskret, daher tritt ein diskretes Linienspektrum auf. Die γ -Strahlung weist alle Eigenschaften einer elektromagnetischen Welle auf. Die Welle kann unterschiedlich mit Materie wechselwirken. Bei einer Annihilation verschwindet das γ -Quant. Eine inelastische Streuung führt zu einer Richtungsänderung wobei ein Teil der Energie an den Stoßpartner abgegeben wird. Eine Richtungsänderung ohne Energieabgabe wird als elastische Streuung bezeichnet. Die wichtigsten Prozesse sind der Photo-Effekt, der Compton-Effekt und die Paarbildung.

W-W-Prozess		Annihilation	Inelast. Streuung	Elast. Streuung
W-W-Partner				
Elektron	(innerer) Photoeffekt	Compton-Effekt	Thomson-Streuung	
Kern	Kernphotoeffekt	Kernresonanz-Streuung		
Elektr. Felder	Paarerzeugung			Delbrück-Streuung

Abbildung 1: Wechselwirkungsarten der γ -Strahlung [1]

2.1.1 Photo-Effekt

Das γ -Quant geht eine Wechselwirkung mit einem H̄llenelektron ein wobei das Elektron aus seiner Bindung entfernt wird. Das γ -Quent wird dabei vernichtet, da es seine gesammte Energie an das Elektron abgibt. Das Elektron hat dann eine kinetische Energie von:

$$E_{\text{kin}} = h\nu - E_B.$$

$h\nu$ ist dabei die Energie des Photons. Die Bindungsenergie es Elektrons wird als E_B angegeben. Da die Bindungsenergie für das Auslösen eines Elektrons erst überschritten werden muss gibt es eine Energieschwelle unter der der Photo-Effekt nicht funktioniert.

2.1.2 Compton-Effekt

Der Compton-Effekt fällt unter die Rubrik der inelastischen Streuung. Ein γ -Quant wird an einem freien Elektron gestreut und verliert einen Teil seiner Energie. Durch die diffuse Streuung nimmt die Intensität des γ -Strahls ab. Der Wirkungsquerschnitt σ_{com} ist gegeben durch:

$$\sigma_{\text{com}} = 2\pi r_e^2 \left(\frac{1 + \epsilon^2}{\epsilon} \left[\frac{2(1 + \epsilon)}{1 + 2\epsilon} - \frac{\ln(1 + 2\epsilon)}{\epsilon} \right] + \frac{\ln(1 + 2\epsilon)}{2\epsilon} - \frac{1 + 3\epsilon}{(1 + 2\epsilon)^2} \right). \quad (2)$$

r_e beschreibt den klassischen Elektronenradius und wird als $r_e = 2,82 \cdot 10^{-15}$ m angenommen. Das Verhältnis der Quantenenergie E_γ zu der Ruheenergie wird als ϵ bezeichnet. Der Absorptionskoeffizient berechnet sich dann über:

$$\mu_{\text{com}} = \frac{ZN_A\rho\sigma_{\text{com}}}{M}. \quad (3)$$

2.1.3 Paarerzeugung

Zu Paarbildung kommt es, wenn die Energie des γ -Quants mindestens doppelt so hoch ist, wie die Ruhemasse eines Elektrons. Unter Annihilation des Photons kommt es zur Bildung eines Elektrons und eines Positrons. Für den Vorgang muss sowohl die Energieerhaltung als auch die Impulserhaltung erfüllt sein. Daher muss die absorbierte Energie vom Betrag

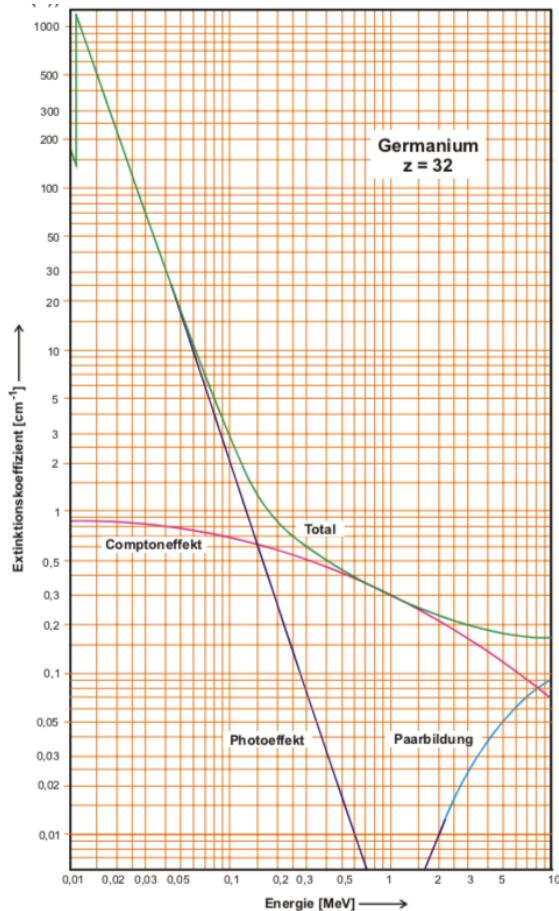


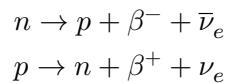
Abbildung 2: Absorptionskoeffizient in Abhängigkeit von der Energie für Germanium [1]

über $2m_0c^2$ liegen.

Im Wesentlichen überlagern sich die drei genannten Effekte beim Durchgang eines γ -Strahls durch Materie und sind somit an der Bildung des Absorptionskoeffizienten verantwortlich. Für niedrige Quantenenergien dominiert der Photoeffekt. Bei größer werdender Energie ist die Paarbildung der ausschlaggebende Effekt. Zwischen den beiden spielt der Compton-Effekt eine große Rolle. Diese Zusammenhänge sind in der Abb. 2 verdeutlicht.

2.2 β -Strahlung

Zur β -Strahlung kommt es, wenn ein Neutron oder ein Proton eines Atomkerns zerfällt.



Im folgenden wird nur der Zerfall eines Neutrons betrachtet. Das Neutron zerfällt in ein Proton und ein Antineutrino $\bar{\nu}_e$. Das ebenfalls entstehende Elektron besitzt eine hohe kinetische Energie und wird als β -Strahlung bezeichnet. Die durch den Zerfall freiwerdende Energie verteilt sich statistisch auf das Elektron und das Antineutrino, wie in Abbildung 3 zu sehen. Das hat zur Folge, dass das β -Spektrum kontinuierlich ist. Die maximale Energie E_{\max} die ein Elektron haben kann, ist gleich der gesamten Energie die beim Zerfall frei wird. Beim Zerfall muss die Energie-, Impuls- und Drehimpulserhaltung gelten.

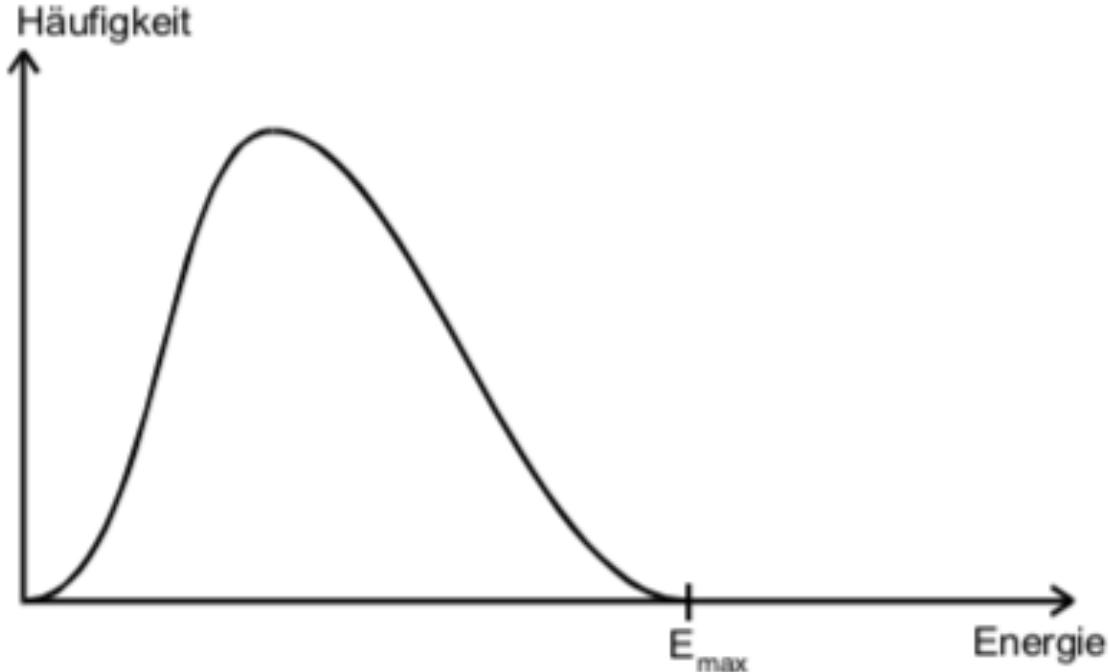


Abbildung 3: Emmissionsspektrum eines β -Strahlers [1]

Der Durchlauf von β -Strahlung durch Materie ist im wesentlichen von drei Prozessen bestimmt. Es treten jeweils eine Vielzahl von Wechselprozessen auf.

2.2.1 Elastische Streuung am Atomkern

Die Elektronen werden unter einem sehr geringen Energieverlust vom Coulomb-Feld des Kerns abgelenkt. Durch die Ablenkung wird der Strahl aufgefächert und verliert so an Intensität. Des Weiteren bewirkt die Streuung eine Verlängerung des Weges der Elektronen im Material und somit zu einer höheren Wahrscheinlichkeit für Wechselwirkungen.

2.2.2 Inelastische Streuung am Atomkern

Die β -Teilchen werden im Coulomb-Feld der Kerne beschleunigt. Durch die Beschleunigung geben die Elektronen Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung ab. Die abgegebene Strahlung wird als Bremsstrahlung bezeichnet.

2.2.3 inelastische Streuung an Elektronen

Die β -Teilchen ionisieren das Absorbermaterial und regen es an. Da die dabei abgegebene Energie sehr gering ist kann das β -Teilchen eine Vielzahl von Wechselwirkungen eingehen.

Für Natürliche β -Strahlen, wie im Experiment verwendet, gilt für geringen Schichtdicken ein Absorptionsgesetz nach (1). Nähert sich die Schichtdicke der maximalen Reichweite der Teilchen kommt es zu starken Abweichungen, da die Untergrundstrahlung einen immer größeren Einfluss auf die Messung nimmt. Überschreitet die Schichtdicke die maximalen Reichweite tritt nur noch Untergrundstrahlung auf. Die zu Absorptionskurve ist in der Abb.4 dargestellt. Über diese ist es möglich die maximale Reichweite R_{\max} zu bestimmen. Hier wird jedoch nicht die Dicke D des Absorbers sondern die Massenbelegung

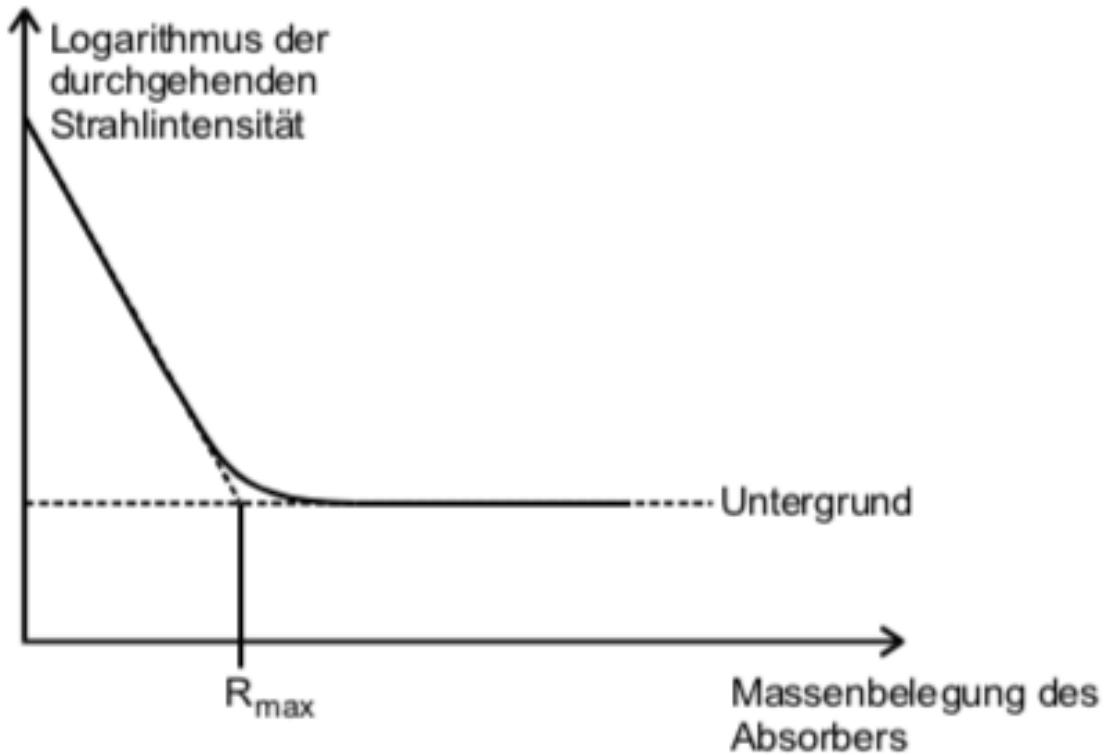


Abbildung 4: Absorptionskurve für einen natürlichen β -Strahler [1]

R aufgetragen. Diese hängen wie folgt zusammen:

$$R = \rho D \quad (4)$$

Da R_{\max} größtenteils durch die energiereichsten Elektronen bestimmt wird, kann so auf

die E_{\max} geschlossen werden. Die verwedete Formel wurde nur empirisch bestimmt.

$$E_{\max} = 1,92 \sqrt{R_{\max}^2 + 0,22 R_{\max}} [MeV] \quad (5)$$

E_{\max} hat eine Größenordnung von $10 \cdot 10^6$ eV.

3 Aufbau und Durchführung

In der Abbildung 5 ist der schematische Aufbau der Aperatur zu sehen. Das G.M.-Zählrohr ist zusetzlich noch mit einem elektrischen Zählwerk verbunden. Als erstes wird eine Nullmessung über 900 s durchgeführt damit die Hintergrundstrahlung bestimmt werden kann.

Es wird ein γ -Strahler (^{137}Cs) in Halterung eingesetzt und für 8 verschiedene Dicken von Blei und Eisen die Aktivität gemessen. Die Messzeit wird dabei so gewählt, dass der statistische Fehler ($\sigma = \frac{\sqrt{N}}{N}$) ca. bei 0,05 liegt.

Nun wird ein β -Strahler (^{99}Tc) in die Apperatur eingesetzt und für 11 verschiedenen dicke Aluminiumplatten die Aktivität gemessen. Die Messzeit wird wieder dem statistischen Fehler angepasst.

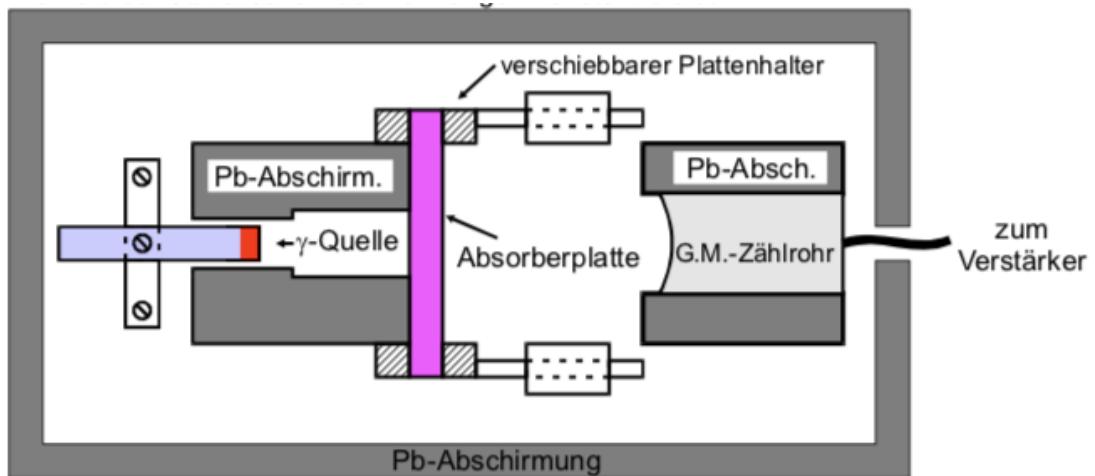


Abbildung 5: Aufbau der Messapparatur [1]

4 Auswertung

4.1 Absorption von γ -Strahlung

Für den theoretischen Wert des Absorptionskoeffizienten wird zunächst der Compton'sche Wirkungsquerschnitt nach Gleichung (2) berechnet. Dafür ist das Verhältnis von Quantenenergie des ^{137}Cs zur Ruheenergie des Elektrons gegeben [1]:

$$\epsilon = 1,295.$$

Damit ergibt sich der Compton'sche Wirkungsquerschnitt zu:

$$\sigma_{\text{com}} = 2,566 \cdot 10^{-29} \frac{1}{\text{m}}.$$

Die beiden verwendeten Absorber sind Eisen und Blei mit den folgenden Eigenschaften [3], [2]: Dabei ist $u = 1,6605 \cdot 10^{-27}$ kg die Atomare Masseneinheit und $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$

Tabelle 1: Parameter zu den Materialien Blei und Eisen

	Eisen	Blei
Z	26	82
M	$55,845 \text{ uN}_A$	$207,2 \text{ uN}_A$
ρ	$7874 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$11\,342 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

[7]. Die Absorptionskoeffizienten berechnen sich nach Gleichung (3) zu:

$$\mu_{\text{com}, \text{Fe}} = 56,647 \frac{1}{\text{m}}$$

$$\mu_{\text{com}, \text{Pb}} = 69,360 \frac{1}{\text{m}}.$$

Ein statistischer Fehler der Zählrate in der Strahlenphysik berechnet sich über

$$\Delta N = \sqrt{N}$$

Die Hintergrundstrahlung wird als

$$N_{U1} = 1229 \pm 35$$

Impulse innerhalb $t_{U1} = 1000$ s gemessen. Damit ergibt sich die Rate

$$\frac{N_{U1}}{t_{U1}} = (1,229 \pm 0,035) \frac{1}{\text{s}}$$

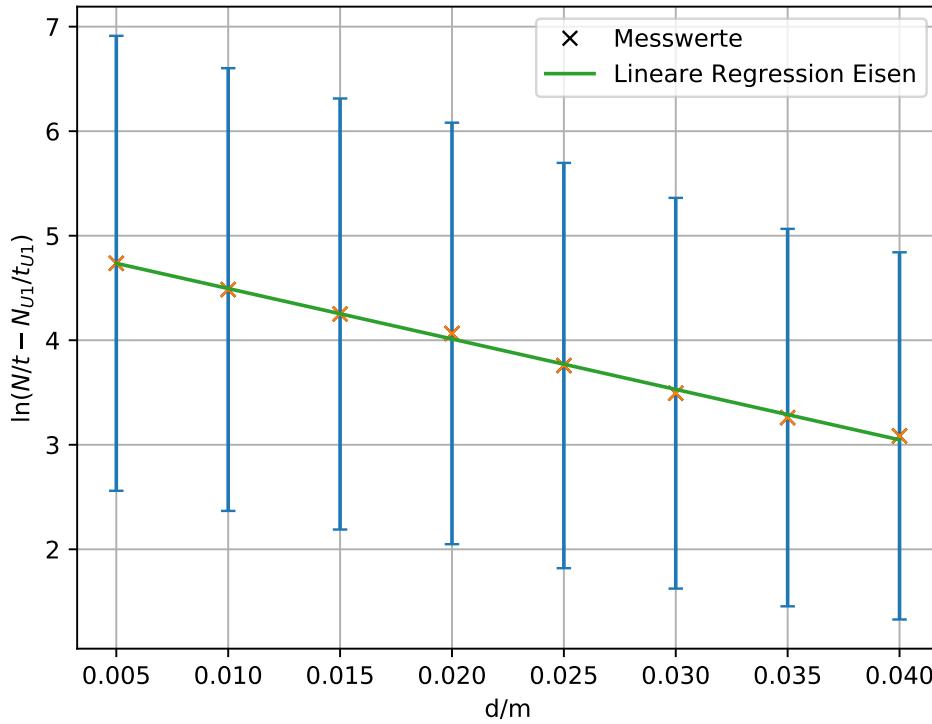


Abbildung 6: Absorptionskurve β -Strahlung für Eisen

Tabelle 2: Messdaten zur Absorption der γ -Strahlung in Eisenplatten

d/m	N	t/s	$\frac{N}{t} / \text{s}$	$\frac{N}{t} - \frac{N_{U1}}{t_{U1}} / \text{s}$	$\ln \left(\frac{N}{t} - \frac{N_{U1}}{t_{U1}} \right)$
0,005	5760	50	115,2	113,974	4,736
0,01	5396	60	89,933	88,707	4,485
0,02	4460	75	59,467	58,241	4,065
0,015	6712	94	71,404	70,178	4,251
0,025	5512	125	44,096	42,87	3,758
0,03	4605	135	34,111	32,885	3,493
0,035	3956	145	27,283	26,057	3,260
0,04	3578	155	23,084	21,858	3,085

Die Messwerte zur Absorption der γ -Strahlung sind für den Absorber Blei und den Absorber Eisen in den Tabellen 3 und 2 notiert. In den Abbildungen 7 und 6 sind die Messwerte absorberabhängig aufgetragen. Die linearen Regressionen der Form $y = ax + b$

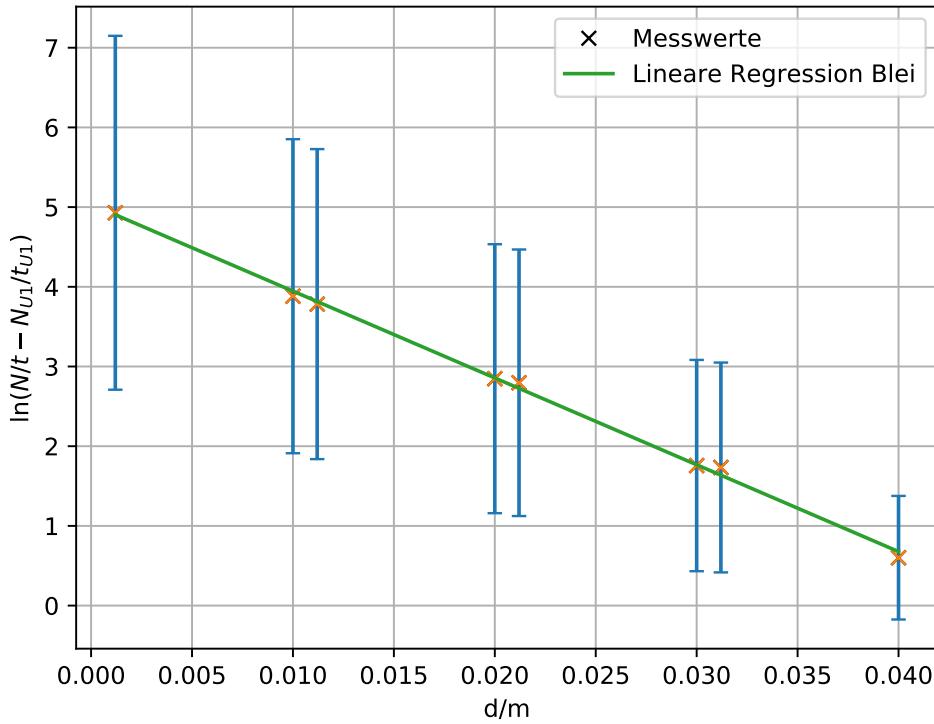


Abbildung 7: Absorptionskurve β -Strahlung für Blei

Tabelle 3: Messdaten zur Absorption der γ -Strahlung in Bleiplatten

d/m	N	t/s	$\frac{N}{t} / \frac{1}{s}$	$\frac{N}{t} - \frac{N_{U1}}{t_{U1}} / \frac{1}{s}$	$\ln \left(\frac{N}{t} - \frac{N_{U1}}{t_{U1}} \right)$
0,0012	6975	50	139,5	138,274	4,929
0,01	4976	100	49,76	48,534	3,882
0,02	3693	200	18,465	17,239	2,847
0,0112	6776	150	45,173	43,947	3,783
0,0212	4402	250	17,608	16,382	2,796
0,03	2107	300	7,023	5,797	1,757
0,0312	2410	350	6,886	5,660	1,733
0,04	1220	400	3,05	1,824	0,601

der Messwerte mittels Python liefern die Parameter

Eisen

$$c = -\mu_{\text{Fe}} = (-48,245 \pm 1,054) \frac{1}{\text{m}}$$

$$d = (4,977 \pm 6,720) \cdot 10^{-4}$$

Blei

$$a = -\mu_{\text{Pb}} = 11 \quad (-108,944 \pm 3,761) \frac{1}{\text{m}}$$

$$b = (5,035 \pm 2,140) \cdot 10^{-3}$$

.

Dabei entsprechen die Steigungen den negativen Absorptionskoeffizienten $-\mu$.

4.2 Absorption von β -Strahlung

Als Dichte des Aluminiums wird

$$\rho_{\text{Al}} = 2,71 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 2710 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

verwendet [6]. Die Massenbelegung R berechnet sich mit Gleichung (4). Die Messung der Hintergrundstrahlung ergibt sich zu

$$N_{U2} = 614 \pm 25$$

in $t_{U2} = 1000 \text{ s}$. Damit errechnet sich die Zählrate zu

$$\frac{N_{U2}}{t_{U2}} = (0,614 \pm 0,025) \frac{1}{\text{s}}$$

Die Messwerte zur Absorption der β -Strahlung sind in Tabelle 4 zu finden. Die Messwerte

Tabelle 4: Messdaten zur Absorption der β -Strahlung

$d / 10^{-6} \text{ m}$	$R / \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$	N	t / s	$\frac{N}{t} / \frac{1}{\text{s}}$	$\frac{N}{t} - \frac{N_{U2}}{t_{U2}} / \frac{1}{\text{s}}$	$\ln \frac{N}{t} - \frac{N_{U2}}{t_{U2}}$
100	0,271	2412	60	40,2	39,586	3,678
125	0,339	608	60	10,133	9,519	2,253
153 \pm 0,5	$0,415 \pm 1,355 \cdot 10^{-3}$	543	60	9,05	8,436	2,132
160 \pm 1	$0,434 \pm 2,71 \cdot 10^{-3}$	422	80	5,275	4,661	1,539
200 \pm 1	$0,542 \pm 2,71 \cdot 10^{-3}$	317	150	2,113	1,499	0,408
253 \pm 1	$0,686 \pm 2,71 \cdot 10^{-3}$	287	350	0,82	0,206	-1,580
302 \pm 1	$0,818 \pm 2,71 \cdot 10^{-3}$	442	600	0,737	0,123	-2,096
338 \pm 5	$0,916 \pm 0,014$	411	600	0,685	0,071	-2,645
400 \pm 1	$1,084 \pm 2,71 \cdot 10^{-3}$	416	600	0,693	0,079	-2,538
444 \pm 2	$1,203 \pm 5,42 \cdot 10^{-3}$	424	600	0,707	0,093	-2,375
482 \pm 1	$1,306 \pm 2,71 \cdot 10^{-3}$	489	700	0,699	0,085	-2,465

R und die Intensität $\frac{N}{t} - \frac{N_U}{t_U}$ sind halblogarithmisch in Abbildung 8 aufgetragen. Die lineare Regression der Absorptionskurve der Form $y = ex + f$ (orange) mit Python liefert die Parameter

$$\begin{aligned} e &= (-11,255 \pm 2,670) \text{ m}^2/\text{kg} \\ f &= 6,506 \pm 0,450. \end{aligned}$$

Die lineare Regression der Hintergrundstrahlung der Form $y = gx + h$ (grün) mittels Python ergibt die Parameter

$$\begin{aligned} g &= (-1,141 \pm 0,358) \text{ m}^2/\text{kg} \\ h &= -1,140 \pm 0,376. \end{aligned}$$

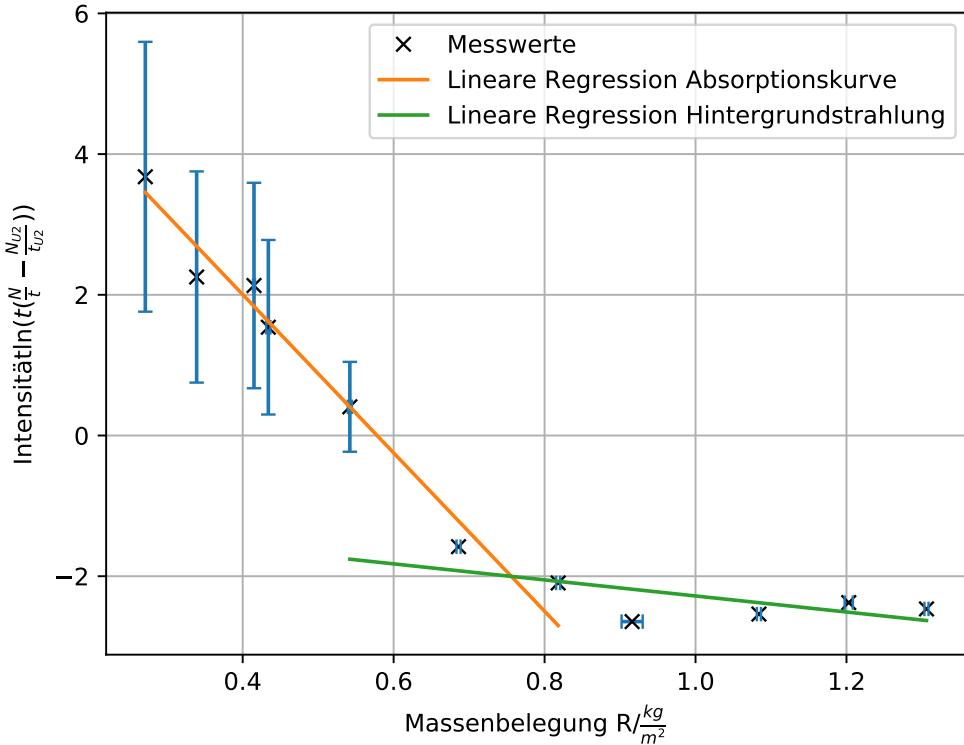


Abbildung 8: Absorptionskurve β -Strahlung

Der Schnittpunkt der beiden Geraden berechnet sich über $ex + f = gx + h$:

$$R_{\max} = x = \frac{h - f}{e - g}.$$

Der Fehler berechnet sich über die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung

$$\begin{aligned} \Delta R_{\max} &= \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial e}\right)^2 \Delta e^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial f}\right)^2 \Delta f^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial g}\right)^2 \Delta g^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial h}\right)^2 \Delta h^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{f - h}{(e - g)^2}\right)^2 \Delta e^2 + \left(-\frac{1}{e - g}\right)^2 \Delta f^2 + \left(\frac{h - f}{(e - g)^2}\right)^2 \Delta g^2 + \left(\frac{1}{e - g}\right)^2 \Delta h^2} \\ &= 0,209 \text{ kg/m}^2. \end{aligned}$$

Damit ergibt sich R_{\max} zu

$$R_{\max} = (0,757 \pm 0,209) \text{ kg/m}^2 = (0,0757 \pm 0,0209) \text{ g/cm}^2.$$

Als maximale Energie ergibt sich nach

$$E_{\max} = 1,92 \sqrt{R_{\max}^2 + 0,22 R_{\max}} = 0,287 \text{ MeV}$$

Die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung ergibt

$$\Delta E_{\max} = \sqrt{\left(1,92 \frac{0,22 + 2R_{\max}}{2\sqrt{R_{\max}(0,22 + R_{\max})}}\right)^2 \Delta R_{\max}^2} = 0,050 \text{ MeV.}$$

Damit beläuft sich die maximale Energie zu

$$E_{\max} = (0,287 \pm 0,050) \text{ MeV.}$$

5 Diskussion

Das Experiment ist in sich gut verlaufen, die Messwerte entsprechen den erwarteten Größenordnungen. Mögliche Fehlerquellen sind die statistischen Fehler, fehlerhafte Messgeräte und Näherungen in den Herleitungen, die nicht genau genug sind. So ist zum Beispiel der Ablauf der Wechselwirkungen zu komplex um sie zu berechnen und einige der genutzten Formeln sind nur für bestimmte Bereiche empirisch bestimmt.

Die Absorptionskoeffizienten von Eisen und Blei sind beide größer, als der theoretische, Compton'sche Absorptionskoeffizient:

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Fe}} &= (48,245 \pm 1,054) \frac{1}{\text{m}} \\ \mu_{\text{com, Fe}} &= 56,647 \frac{1}{\text{m}} \\ \mu_{\text{Pb}} &= (108,944 \pm 3,761) \frac{1}{\text{m}} \\ \mu_{\text{com, Pb}} &= 69,360 \frac{1}{\text{m}}.\end{aligned}$$

Damit lässt sich annehmen, dass in beiden Materialen neben dem Comptoneffekt auch der Photoeffekt auftritt. Im Blei kommt aber der Photoeffekt deutlich häufiger vor als im Eisen. Die relative Abweichung f in Prozent lässt sich über

$$f = \frac{x_{\text{exp}} - x_{\text{theo}}}{x_{\text{theo}}} \cdot 100$$

berechnen. Die Abweichungen berechnen sich zu

$$\begin{aligned}f_{\text{Fe}} &= 14,83 \% \\ f_{\text{PB}} &= 57,07 \%\\ &\dots\end{aligned}$$

Die große Abweichung bei den Blei-Absorbern lässt sich durch die deutlich höhere Dichte vom Blei erklären. Die Strahlung tritt deutlich schneller in die Wechselwirkungen mit

den vielen Kernen, Hüllen und Elektronen ein.

Bei der β -Strahlung berechnet sich die maximale Energie der Strahlung zu

$$E_{\max} = (0,287 \pm 0,050) \text{ MeV}.$$

Der Literaturwert [5] beträgt

$$E_{\max, \text{theo}} = 0,293 \text{ MeV}.$$

Der relative Fehler $f_{E_{\max}}$ der Messung beläuft sich zu

$$f_{E_{\max}} = 2,05 \text{ \%}.$$

Damit ist die Messung der maximalen Emissionsenergie von ^{99}Tc über die β -Strahlung ziemlich genau.

Literatur

- [1] TU Dortmund. In: *Versuchsanleitung V602*.
- [2] Andy Hoppe. *Blei*. URL: <http://www.periodensystem.info/elemente/blei/> (besucht am 28.05.2018).
- [3] Andy Hoppe. *Eisen*. URL: <http://www.periodensystem.info/elemente/eisen/> (besucht am 28.05.2018).
- [4] Andy Hoppe. *Technetium*. URL: <http://www.periodensystem.info/elemente/technetium/> (besucht am 27.05.2018).
- [5] René Rausch. *Das Periodensystem der Elemente online - 99Tc (Technetium-99)*. URL: <http://www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=43&mz=99&show=nuklid> (besucht am 05.06.2018).
- [6] Chemnitzer Schulmodell. *Dichte fester Stoffe*. URL: <http://www.schulmodell.eu/index.php/physik/503-dichte-fester-stoffe.html> (besucht am 23.05.2018).
- [7] Casio Taschenrechner. In: *fx-991ES*.

V704

22/05/18

Nullmessung $N_0 = 614 / 100\text{SS}$

Plattendicke Kupfer

1	0,15	0,14	0,145	0,145	0,14	0,15	mm
2	0,13	2,9	0,219	2,95	0,3	2,95	mm
3	10,1	10,2	10,2	10,05	10,2	10,1	mm

Plattendicke Blei

1	0,15	0,2	0,1	mm
2				γ -strahler Technetium 99
3				

β -Strahler - Alu

d/ μ m	N	t/s
0	34112	60
100	2412	60
125	608	60
153±05	543	60
160±1	422	80
200±1	388±100	150
	317	
253±1	287	350
302±1	442	600
338±5	411	600
400±1	416	600
444±2	424	600
482±1	489	700 ✓

22.05.18
J. Herzer

Abbildung 9: Originale Messdaten