

V14

Tomographie mittels γ -Strahlung

Polina Stecher

polina.stecher@tu-dortmund.de

Ramona-Gabriela Kallo

ramonagabriela.kallo@tu-dortmund.de

Durchführung: 17.10.18

Abgabe: 23.10.18

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theorie	3
2.1	Tomographie allgemein	3
2.2	Spektrum der Quelle	3
2.3	Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie	4
2.3.1	Comptoneffekt	4
2.3.2	Photoeffekt	4
2.3.3	Paarbildung	5
3	Aufbau und Durchführung	5
4	Vorbereitung	6
4.1	Wirkungsquerschnitt und Absorptionskoeffizient	6
4.2	Projektionen der 3x3 Matrix	7
5	Auswertung	9
5.1	Nullmessung der Intensität	9
5.2	Würfel 2	10
5.3	Würfel 3	11
5.4	Würfel 4 mit unbekannter Zusammensetzung	11
6	Diskussion	13
6.1	Würfel 2	13
6.2	Würfel 3	14
6.3	Würfel 4	14
6.4	Fehlerquellen	14
	Literatur	15

1 Einleitung

Im folgenden Versuch wird mit Hilfe der Tomographie ein Würfel, welches aus 27 Elementarwürfeln zusammengesetzt ist, auf seine Materialien untersucht. Dieser wird von γ -Strahlung in verschiedenen Einstrahlwinkel durchstrahlt. Anhand der Absorption der Strahlung lassen sich Rückschlüsse auf die enthaltenen Stoffe ziehen.

2 Theorie

2.1 Tomographie allgemein

Die Tomographie ist allgemein ein bildgebendes Verfahren und dient zur Untersuchung räumlicher Strukturen mit Hilfe von Querschnittsbildern. Dabei wird das zu untersuchende Objekt mit γ -Strahlung bestrahlt und die Intensität der Strahlung vor und nach der Transmission durch ein Objekt gemessen. Die Strahlung wird je nach Material unterschiedlich stark absorbiert aufgrund der unterschiedlichen Absorptionskoeffizienten μ_i . Die Zählrate N hinter der Probe lässt sich mit Hilfe der Formel berechnen:

$$N = N_0 e^{-\sum \mu_i d_i}$$

wobei N_0 die Anfangszählrate, d_i die Wegstrecke und μ_i die Absorptionskoeffizienten sind. Um ein dreidimensionales Bild zu erzeugen, werden verschiedene Projektionen aus unterschiedlichen Richtungen benötigt. Um aus dem Gleichungssystem die Absorptionskoeffizienten zu bestimmen, wird ein überbestimmtes Gleichungssystem benötigt. Es ergibt sich eine Matrixgleichung wie folgt:

$$A\vec{\mu}^T = \vec{I} \quad (1)$$

Außerdem gilt:

$$A_{ji} = d_{ji}$$

und

$$I_i = \ln \left(\frac{N_0}{N_i} \right).$$

Die Gleichung 1 wird nach μ umgestellt und es ergibt sich die folgende Lösung:

$$\vec{\mu} = (A^T A)^{-1} A^T I \quad (2)$$

2.2 Spektrum der Quelle

Als Quelle wird das Element ^{137}Cs benutzt. Cäsium ist ein Alkalimetall, das durch einen β^- -Zerfall in metastabiles ^{137}Ba zerfällt. Das metastabile ^{137}Ba zerfällt durch Aussendung eines γ -Quants mit einer Energie von 662 keV in stabiles ^{137}Ba . Das Spektrum ist in der Abbildung 1 dargestellt.

Das Hauptmaximum des Spektrums liegt etwa bei 662 keV. Dieses ist der sogenannte Full-Energy-Peak, welches durch die vollständige Energieabgabe des Photons an das

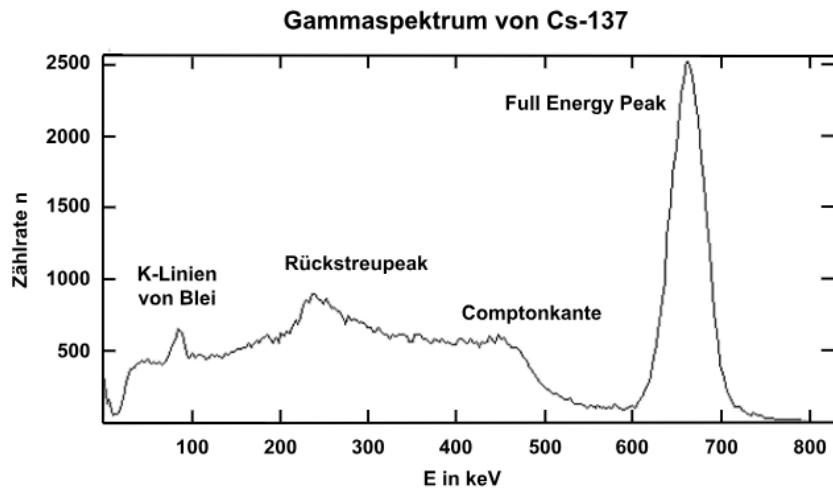


Abbildung 1: Spektrum der verwendeten Quelle, [4].

Elektron im Detektor entsteht. Beim Comptoneffekt wird die Energie nur teilweise an das Elektron übertragen. Das Comptonkontinuum, welches sich im linken Bereich der Abbildung 1 erstreckt, entsteht durch Streuung der Photonen.

2.3 Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie

Die Proben werden mit γ -Strahlung durchstrahlt. Die Absorption/Abschwächung der Strahlung in Materie entsteht durch verschiedene Wechselwirkungen. Alle mikroskopischen Effekte werden schematisch in der Abbildung 2 dargestellt.

2.3.1 Comptoneffekt

Beim Comptoneffekt trifft das Photon auf ein freies Elektron und vollführt einen inelastischen Stoß. Dabei gibt das Photon ein Teil seiner Energie ab und ändert dabei seine Geschwindigkeitsrichtung. Durch die Energieübertragung kommt es zu einer Wellenlängenänderung des Photons nach dem Stoß, da die Energie an das Elektron abgegeben wird. Die Änderung wird über die folgende Gleichung gegeben:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos(\theta))$$

2.3.2 Photoeffekt

Beim Photoeffekt trifft das Photon auf ein festes Elektron und gibt dabei seine gesamte Energie an das Elektron ab. Wenn die Energie des Photons genau der Bindungsenergie des Elektrons entspricht, wird das Elektron aus dem Atom gelöst. Dabei besitzt das Photoelektron die γ -Energie vermindert um die Bindungsenergie des Elektrons.

2.3.3 Paarbildung

Bei der Paarbildung wird durch die Aufnahme eines Impulses der auftreffenden Photonenstrahlung durch den Atomkern Strahlung in Materie verwandelt. Dabei bildet sich ein Elektron-Positron-Paar. Hierbei muss die Energie des eintreffenden Photons mindestens der Ruheenergie des Elektron-Positron-Paares entsprechen, also $E_{\min} = 1,02 \text{ MeV}$. Dieser Effekt spielt jedoch bei den in diesem Versuch verwendeten Energien keine Rolle.

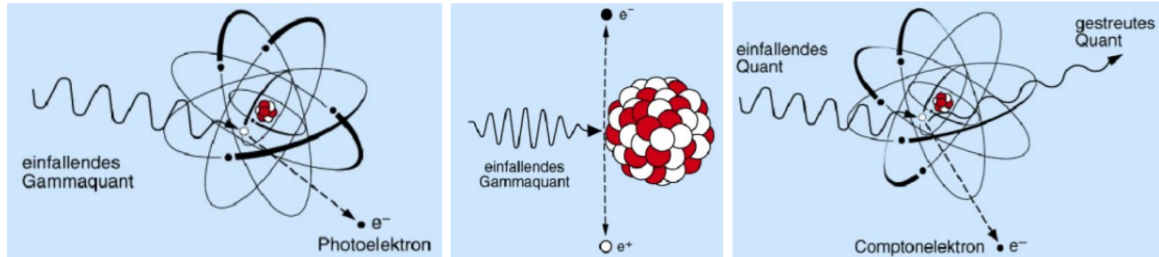


Abbildung 2: Wechselwirkung mit Materie: Photoeffekt(links), Paarbildung(mitte), Comptoneffekt(rechts), [3, S. 1].

3 Aufbau und Durchführung

Der Versuchsaufbau, bestehend aus der Cäsium-Probe als γ -Quelle, den zu untersuchenden Würfeln und dem NaJ-Detektor sind in der Abbildung 3 zu sehen.

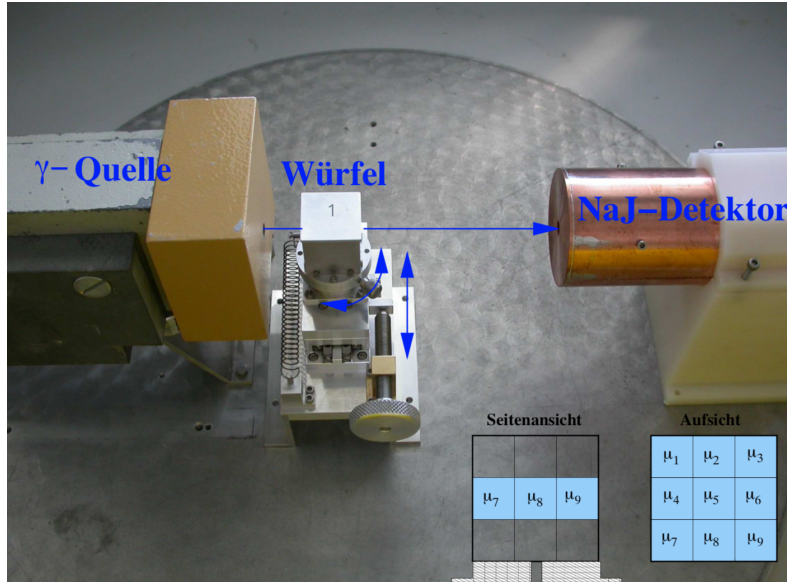


Abbildung 3: Versuchsaufbau, [6, S. 4].

Zur Detektion wird ein Szintillationsdetektor mit einem Vielkanalanalysator verwendet. Im Kopf befindet sich ein von äußerem Licht geschützter NaJ-Kristall. Die einfallende Strahlung regt die Atome des Kristalls an, sodass diese Photonen ausstrahlen. Die ausgesendeten Photonen gelangen in den Photomultiplier. Dort befindet sich eine Photokathode, aus der durch den Photoeffekt Elektronen ausgelöst werden, die daraufhin von einer Spannung beschleunigt werden und ein Vielfaches an Elektronen auslösen. An der Anode kann dann ein gut messbarer Stromimpuls gemessen werden, dessen Amplitude von der Energie der einfallenden Strahlung abhängig ist. Die Impulse treten in den Multichannelanalyzer, wo sie nach ihrer Größe und ihrer Häufigkeit sortiert werden und anschließend ein Histogramm der Intensitätsverteilung erstellt wird.

Der Strahl trifft auf den aus 27 Elementarwürfeln bestehenden Würfel, der in einer Halterung befestigt und in der richtigen Projektionsrichtung justiert wird. Anschließend werden die nicht absorbierten Strahlen über einen Zeitintervall von ca. 300 Sekunden vom Detektor aufgenommen. Zunächst wird eine Messung des Aluminiumgehäuses durchgeführt, um die Eingangsintensität I_0 zu bestimmen. Dazu wird eine gerade und eine schräge Projektion ausgewählt. Daraufhin werden zwei weitere Würfel (2 und 3), die jeweils aus einem Material bestehen, aus verschiedenen Projektionen untersucht. Zuletzt wird der Würfel 4 untersucht. Dieser besteht aus mehreren zusammengesetzten Materialien.

4 Vorbereitung

4.1 Wirkungsquerschnitt und Absorptionskoeffizient

In der Tabelle 1 befinden sich die Wirkungskoeffizienten μ der verwendeten Materialien für den Compton-Effekt und den Photoeffekt sowie die ausgerechneten Gesamtwirkungsquerschnitte bei einer Energie von 662 keV, da in dem Versuch ein ^{137}Cs -Strahler benutzt wird und die γ -Linienenergie von Caesium bei 662 keV liegt. Der Absorptionskoeffizient μ wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$\mu = \sigma \cdot \rho, \quad (3)$$

wobei ρ die Dichte und σ der Wirkungsquerschnitt der Materialien sind.

Tabelle 1: Wirkungsquerschnitte und Absorptionskoeffizienten von den verschiedenen Materialien, [7, 2] .

	Aluminium	Blei	Eisen	Messing	Delrin
ρ [g/cm ³]	2,7	11,34	7,86	8,6	1,41
σ_{Compton} [cm ² /g]	0,0742	0,0601	0,0716	0,0702	0,0822
μ_{Compton} [1/cm]	0,2005	0,6821	0,5639	0,5806	0,1159
σ_{Photo} [cm ² /g]	$6,565 \cdot 10^{-5}$	0,0439	0,0008	0,0013	$6,784 \cdot 10^{-6}$
μ_{Photo} [1/cm]	0,0001	0,4918	0,0068	0,0117	$9,565 \cdot 10^{-5}$
σ_{Ges} [cm ² /g]	0,0743	0,1035	0,0724	0,0716	0,0822
μ_{Ges} [1/cm]	0,2007	1,1741	0,5705	0,5917	0,1167

4.2 Projektionen der 3x3 Matrix

In der Abbildung 4 werden die vermessenen Strahlengänge von I_1 bis I_{12} schematisch dargestellt:

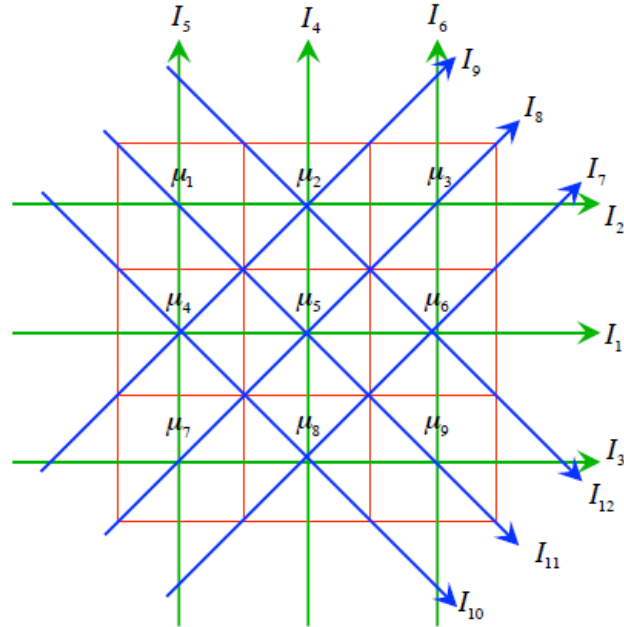


Abbildung 4: Nummerierung der Strahlengänge für das Messverfahren.

Hiermit werden die Projektionen dargestellt, die gemessen werden sollen und wie die zugehörige Matrix für eine Ebene eines 3x3x3 Würfels aussehen muß. Sie enthält die Absorptionskoeffizienten μ_i mit $i = 1, \dots, 9$, die Intensitäten I_i mit $i = 1, \dots, 12$ und d ist die Kantenlänge eines Elementarwürfels mit den Wert 1 cm. Die Matrixgleichung für den 3 x 3 Würfel lautet mit der Abkürzung:

$$I_j = \ln \left(\frac{I_0}{N_j} \right) \quad \text{mit} \quad j = (\text{I,II,III,IV,V,VI,VII,VIII,IX,X,XI,XII}) \quad (4)$$

Ähnlich wie beim dem 2 x 2 Würfel(s. Anleitung [6, S. 2]) hätten in diesem Fall auch nur 9 Strahlengänge sein können, aber für die Messung werden mehr Projektionen gemessen als unbekannte Elementarwürfel vorhanden sind, damit die Meßgenauigkeit erhöht werden kann. Deshalb werden noch 3 weiteren Strahlengänge benötigt, damit das Gleichungssystem übereinstimmt und damit es sich um eine quadratische Matrix handeln kann. Mit welchen Strahlengänge aus welcher Richtung betrachten möchte, ist für sich selbst überlassen, deshalb gibt es mehrere Möglichkeiten den Würfel zu bestrahlen. Im Nachhinein werden die gleichen Strahlengänge für die verschiedenen Würfel verwendet, damit dieselbe Matrix angewendet werden kann. Die Abbildung 4 wird mit Hilfe des Programms Inkscape erstellt.

Durchstrahlt ein Strahl ein Gebiet mit drei verschiedenen Absorptionseffizienten, so ergibt sich mit der Gleichung () und der Abkürzung für die Matrixgleichung 4:

$$\begin{aligned}
\ln \left(\frac{I_0}{N_1} \right) &= d \cdot (\mu_4 + \mu_5 + \mu_6) \\
\ln \left(\frac{I_0}{N_2} \right) &= d \cdot (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3) \\
\ln \left(\frac{I_0}{N_3} \right) &= d \cdot (\mu_7 + \mu_8 + \mu_9) \\
\ln \left(\frac{I_0}{N_4} \right) &= d \cdot (\mu_2 + \mu_5 + \mu_8) \\
\ln \left(\frac{I_0}{N_5} \right) &= d \cdot (\mu_1 + \mu_4 + \mu_7) \\
\ln \left(\frac{I_0}{N_6} \right) &= d \cdot (\mu_3 + \mu_6 + \mu_9) \\
\ln \left(\frac{I_0}{N_7} \right) &= d \cdot (\sqrt{2}\mu_6 + \sqrt{2}\mu_8) \\
\ln \left(\frac{I_0}{N_8} \right) &= d \cdot (\sqrt{2}\mu_3 + \sqrt{2}\mu_5 + \sqrt{2}\mu_7) \\
\ln \left(\frac{I_0}{N_9} \right) &= d \cdot (\sqrt{2}\mu_2 + \sqrt{2}\mu_4) \\
\ln \left(\frac{I_0}{N_{10}} \right) &= d \cdot (\sqrt{2}\mu_4 + \sqrt{2}\mu_8) \\
\ln \left(\frac{I_0}{N_{11}} \right) &= d \cdot (\sqrt{2}\mu_1 + \sqrt{2}\mu_5 + \sqrt{2}\mu_9) \\
\ln \left(\frac{I_0}{N_{12}} \right) &= d \cdot (\sqrt{2}\mu_2 + \sqrt{2}\mu_6)
\end{aligned}$$

Die aufgeführten Gleichungen können als lineares Gleichungssystem dargestellt werden und führen auf die folgende Matrix für die Würfelgeometrie:

$$d \cdot \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 & \sqrt{2} & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 & \sqrt{2} & 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{2} & 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 \\ \sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} \\ 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \mu_3 \\ \mu_4 \\ \mu_5 \\ \mu_6 \\ \mu_7 \\ \mu_8 \\ \mu_9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \\ I_8 \\ I_9 \\ I_{10} \\ I_{11} \\ I_{12} \end{pmatrix}$$

5 Auswertung

5.1 Nullmessung der Intensität

Um die Untergrundstrahlung zu messen, wird für die Nullmessung der Intensität ein leerer Würfel verwendet, der die Nummerierung 1 trägt und aus einem Aluminiummantel besteht. Diese wird in den Messungen jeweils automatisch vom gemessenen Spektrum abgezogen. Aufgrund der unterschiedlichen Dicken bei den verschiedenen Einstrahlungswinkel werden einmal den Strahlengang I_1 , also die Position 1 (siehe Abb.4) senkrecht durch den Würfel und den Strahlengang I_8 , also die Position 8 (siehe Abb.4), diagonal durch die gegenüberliegenden Ecken gemessen. Die Messwerte dazu befinden sich in der Tabelle 2.

Tabelle 2: Messwerte für die Nullmessung der Intensität für den leeren Würfel.

Strahlengang	Counts N	t/s	$I/\frac{1}{s}$	$\sigma_I/\frac{1}{s}$	σ_N
1	1232	5,94	207,4	7,04	35,09
8	1231	5,72	215,2	6,13	35,08

Es werden die Counts N und die Zeit t gemessen, damit die Intensitäten I berechnet werden können. Außerdem handelt es sich in dem Versuch um ein stochastisch verteiltes Experiment mit Zählereignisse (Counts). Der Fehler der Counts wird wie folgt ausgerechnet:

$$\sigma_N = \sqrt{N}. \quad (5)$$

Die Intensitäten I werden mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$I = \frac{N}{t} \quad (6)$$

und für die Würfel wird zusätzlich der Wert σ_I benötigt, damit der Fehler der Intensität berechnet werden kann und sieht nach der Gaußschen Fehlerfortpflanzung wie folgt aus:

$$\sigma_I = \sqrt{\left(\frac{\sigma_N}{t}\right)^2 + \left(-\frac{N\sigma_t}{t^2}\right)^2}. \quad (7)$$

Die berechneten Intensitäten werden im weiteren Verlauf als Intensität I_0 verwendet, die den Hohlwürfel passieren.

5.2 Würfel 2

Die Messwerte für den Würfel 2 befinden sich in der Tabelle 3. Zur Berechnung der Intensität, Fehler des Counts und Fehler der Intensitäten werden die Gleichungen 5, 6 und 7 benötigt. Die ausgerechneten Absorptionskoeffizienten befinden sich in der Tabelle 3.

Tabelle 3: Messwerte sowie die berechneten Intensitäten für den Würfel 2.

Strahlengang	Counts N	t/s	$I/\frac{1}{s}$	$\sigma_I/\frac{1}{s}$	σ_N
1	3578	31,5	113,58	1,80	59,81
2	1181	300	3,98	0,11	34,36
3	1154	300	3,84	0,11	33,97
4	1950	300	6,5	0,14	44,15
5	1905	300	6,35	0,14	43,64
6	1779	300	5,93	0,14	42,17
7	4337	300	14,45	0,21	65,85
8	3242	35,38	91,63	1,60	56,93
9	6580	300	21,93	0,27	81,11
10	2436	300	8,12	0,16	49,35
11	1385	300	4,16	0,12	37,21
12	9094	300	30,31	0,31	95,36

Der Mittelwert $\bar{\mu}$ aus n Stichproben μ_i ergibt sich aus:

$$\bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i. \quad (8)$$

Die Standardabweichung errechnet sich nach:

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\mu_i - \bar{\mu})^2} \quad (9)$$

mit zufälligen Fehlern behafteten Werten μ_i mit $i = 1, \dots, n$.

Der aus der Standardabweichung aus der Gleichung 9 resultierende Fehler des Mittelwertes

ergibt sich nach:

$$\Delta\bar{\mu} = \frac{s_i}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mu_i - \bar{\mu})^2}{n(n-1)}}. \quad (10)$$

Tabelle 4: Die ausgerechneten Absorptionskoeffizienten für den Würfel 2.

μ_n	$\mu/\frac{1}{\text{cm}}$
μ_1	$1,18 \pm 0,02$
μ_2	$1,41 \pm 0,01$
μ_3	$1,40 \pm 0,02$
μ_4	$0,81 \pm 0,01$
μ_5	$-0,05 \pm 0,02$
μ_6	$-0,25 \pm 0,01$
μ_7	$0,91 \pm 0,02$
μ_8	$1,27 \pm 0,01$
μ_9	$1,84 \pm 0,02$

Die Werte für die Absorptionskoeffizienten μ_n ergeben sich nach der Gleichung 2. Für den zweiten Würfel ergibt sich nach den Formeln für den Mittelwert und den Fehler:

$$\bar{\mu}_2 = (0,949 \pm 0,218) \frac{1}{\text{cm}}.$$

5.3 Würfel 3

Die Messwerte für den Würfel 3 befinden sich in der Tabelle 5. Hierfür wird der Fehler der Intensität wie folgt berechnet:

$$\sigma_{\text{Int}} = \frac{\sqrt{N}}{t}, \quad (11)$$

da sich in diesem Fall bei t um keine fehlerbehaftete Größe handelt.

Zur Berechnung der Intensität und Fehler des Counts werden die Gleichungen 5 und 6 benötigt. Die Werte für die Absorptionskoeffizienten μ_n ergeben sich nach der Gleichung 2. Hier ist noch es zu erwähnen, dass es sich um eine 9x9-Matrix handelt und der letzte Wert für den Strahlengang 10 wird vernachlässigt. Die ausgerechneten Absorptionskoeffizienten befinden sich in der Tabelle 6.

Für den dritten Würfel ergibt sich nach den Gleichungen 8 und 10 den folgenden Wert:

$$\bar{\mu}_3 = (0,955 \pm 0,278) \frac{1}{\text{cm}}.$$

5.4 Würfel 4 mit unbekannter Zusammensetzung

Die Messwerte für den Würfel mit unbekannter Zusammensetzung befinden sich in der Tabelle 7. Zur Berechnung der Intensität, Fehler des Counts und Fehler der Intensitäten

Tabelle 5: Messwerte sowie die berechneten Intensitäten für den Würfel 3.

Strahlengang	Counts N	t/s	$I/\frac{1}{s}$	$\sigma_I/\frac{1}{s}$	σ_N
1	2068	300	6,89	0,15	45,47
2	3709	300	12,36	0,20	60,90
3	2253	300	7,51	0,16	47,46
4	2221	300	7,40	0,15	47,12
5	2919	300	9,73	0,18	54,02
6	2412	300	8,04	0,16	49,11
7	1026	300	3,42	0,10	32,03
8	827	300	2,75	0,09	28,75
9	3556	300	11,85	0,19	59,63
10	4546	300	15,15	0,22	67,42

Tabelle 6: Die ausgerechneten Absorptionskoeffizienten für den Würfel 3.

μ_n	$\mu/\frac{1}{\text{cm}}$
μ_1	$2,63 \pm 0,04$
μ_2	$-0,44 \pm 0,02$
μ_3	$-0,07 \pm 0,03$
μ_4	$0,86 \pm 0,03$
μ_5	$1,29 \pm 0,03$
μ_6	$1,33 \pm 0,03$
μ_7	$1,01 \pm 0,03$
μ_8	$1,25 \pm 0,02$
μ_9	$0,71 \pm 0,03$

werden die Gleichungen 5, 6 und 7 benötigt. Die Werte für die Absorptionskoeffizienten μ_n ergeben sich nach der Gleichung 2.

Tabelle 7: Messwerte sowie die berechneten Intensitäten für den Würfel 4.

Strahlengang	Counts N	t/s	$I/\frac{1}{s}$	$\sigma_I/\frac{1}{s}$	σ_N
1	1340	79,26	16,90	1,93	36,60
2	1043	57,98	17,98	0,55	32,29
3	1031	56,92	18,11	0,56	32,10
4	1007	62,46	16,12	0,51	31,73
5	1021	62,88	16,23	0,51	31,95
6	1035	59,04	17,53	0,54	32,17
7	1030	57,62	17,87	0,55	32,09
8	1020	134,62	7,57	0,23	31,93
9	1064	52,60	20,22	0,62	32,61
10	1026	39,52	25,96	0,81	32,03
11	1036	128,86	8,03	0,24	32,18
12	1445	97,48	14,82	0,38	38,01

In diesem Fall wird nicht gemittelt, da der Würfel aus verschiedenen Materialien besteht, was an den deutlich verschiedenen Absorptionskoeffizienten ersichtlich ist. Die ausgerechneten Absorptionskoeffizienten befinden sich in der Tabelle 8.

Tabelle 8: Die ausgerechneten Absorptionskoeffizienten für den Würfel 4.

μ_n	$\mu/\frac{1}{cm}$
μ_1	$0,82 \pm 0,02$
μ_2	$0,93 \pm 0,02$
μ_3	$0,69 \pm 0,03$
μ_4	$0,74 \pm 0,02$
μ_5	$0,77 \pm 0,02$
μ_6	$0,98 \pm 0,02$
μ_7	$0,92 \pm 0,03$
μ_8	$0,77 \pm 0,02$
μ_9	$0,74 \pm 0,03$

6 Diskussion

6.1 Würfel 2

Für den zweiten Würfel ergibt sich der gemittelte Absorptionskoeffizient wie folgt:

$$\bar{\mu}_2 = (0,949 \pm 0,218) \frac{1}{cm}. \quad (12)$$

Wird dieser Wert mit den Literaturwerten aus der Tabelle 1 verglichen, so stellt es sich heraus, dass es sich um Blei handeln muss. Die Abweichung vom Literaturwert liegt bei etwa 19,17 %.

6.2 Würfel 3

Für den dritten Würfel folgt für den gemittelten Absorptionskoeffizient μ_3 :

$$\bar{\mu}_3 = (0,955 \pm 0,278) \frac{1}{\text{cm}}. \quad (13)$$

Durch den Vergleich mit den Literaturwerten aus der Tabelle 1 kann es sich wieder um Blei handeln. Wird die Abweichung zwischen den Gleichungen 12 und 13 berechnet, so ergibt sich etwa 0,62 %. Es kann sich hiermit feststellen, dass der dritte Würfel höchstwahrscheinlicher aus Blei besteht als der zweite, der sich zu nächstkleineren Werte nähert und zwar Eisen und Messing. Jedoch stellt es sich aber eine größere Abweichung vom Literaturwert für den zweiten Würfel für Eisen und Messing und zwar circa 60,02 % und 66,34 %.

6.3 Würfel 4

Für den letzten Würfel liegen die meisten Absorptionskoeffizienten in der Nähe vom Literaturwert von Messing (μ_3, μ_4, μ_9) und Blei (μ_2, μ_6, μ_7). Dabei zeigen die meisten eine gleich Größenordnung. Der Mittelwert ergibt sich zu:

$$\bar{\mu}_{3,4,9} = (0,72 \pm 0,02) \frac{1}{\text{cm}} \quad (14)$$

$$\bar{\mu}_{2,6,7} = (0,94 \pm 0,02) \frac{1}{\text{cm}}, \quad (15)$$

für die restlichen ergibt sich ein Mittelwert von:

$$\bar{\mu}_{1,5,8} = (0,78 \pm 0,02) \frac{1}{\text{cm}}.$$

Der ersten gemittelten Wert $\bar{\mu}_{3,4,9}$ weicht circa 21,7 % vom Literaturwert ab. Damit stellt es sich heraus, dass es sich um Messing handeln könnte. Bei den zweiten gemittelten Wert $\bar{\mu}_{2,6,7}$ weicht circa 19,65 % vom Literaturwert ab und könnte es sich dementsprechend wieder um Blei handeln. Bei den übrigen Absorptionskoeffizienten wird den Mittelwert betrachtet und verglichen mit den Wert aus der Gleichung 12, so stellt es sich heraus dass die Abweichung bei circa 17,02 % liegt. Es kann sich hier leider nicht feststellen, ob es sich um Messing, Eisen oder Blei handelt.

6.4 Fehlerquellen

Es gibt einige Fehlerquellen, die beim Messverfahren beobachtet wurden. Zum einen lässt sich der Würfel nur mit Augenmaß und per Hand in den Strahlengang platzieren. Deswegen führt es zu ungenauen Einfallswinkeln und Positionierungen des Würfels

im Strahl. In der Realität ist der γ -Strahl nicht punktförmig, sondern er besitzt eine endliche breite Ausdehnung, so dass bei der diagonalen Messung nicht nur die diagonal angeordneten Würfel vom Strahl getroffen werden, sondern auch die seitlich angrenzenden. Dies kann zu einer Verfälschung der Absorptionskoeffizienten führen und als mögliche Fehlerquelle könnte das ungenaue Justieren des Würfels sein.

Für eine genauere Justierung, soll am besten die Messvorrichtung verbessert werden und zum einen kann der Strahlengang verkleinert werden, was zu kleineren Intensitäten führen würde und gleichzeitig zu längeren Messzeiten. Es könnten mehr Strahlengänge aufgenommen werden, vor allem die diagonalen, da sie durch ungenaue Justierung schneller auffallen, als die die senkrecht durch den Würfel durchstrahlen.

Literatur

- [1] Wikibooks - die freie Bibliothek. *Physikalische Grundlagen der Nuklearmedizin / Szintillationszähler*. 2018. URL: https://de.wikibooks.org/wiki/Physikalische_Grundlagen_der_Nuklearmedizin/_Szintillationsz%C3%A4hler (besucht am 19.10.2018).
- [2] Forum-Sondermaschinenbau. *Liste dichter Stoffe*. 2018. URL: <http://www.forum-sondermaschinenbau.de/seiten/dichte.html> (besucht am 18.10.2018).
- [3] Justus-Liebig-Universität Giessen. *Anleitung zum physikalischen Praktikum für Fortgeschrittene Teil II, Versuch: Comptoneffekt*. 2018. URL: <https://www.uni-giessen.de/fbz/fb07/fachgebiete/physik/institute/iipi/arbeitsgruppen/ag-kuhn/documents/compton> (besucht am 20.10.2018).
- [4] Leifiphysik. *Gammaspektrum von Cs-137*. 2018. URL: <https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-fortfuehrung/versuche/gammaspektrum-von-cs-137> (besucht am 20.10.2018).
- [5] Scott Moreland. *Gamma Spectroscopy: Past, Present and Future*. 2018. URL: http://resource.npl.co.uk/docs/science_technology/ionising%20radiation/clubs_groups/nsuf/2006/09_scott_moreland_npl_presentation_ametek.pdf (besucht am 21.10.2018).
- [6] TU Dortmund: Physikalisches Praktikum. *Versuch 14: Tomographie mittels Gamma-Strahlung*. 2018. URL: <http://129.217.224.2/HOME/PHYSIKER/BACHELOR/FP/SKRIPT/BTomographie.pdf> (besucht am 18.10.2018).
- [7] National Institute of Standards und Technology(NIST). *XCOM*. 2018. URL: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html> (besucht am 18.10.2018).