

V14

# Tomographie mit Gamma-Strahlung

Sonia Chander

sonia.chander@tu-dortmund.de

Jana Schlücking

jana.schluecking@tu-dortmund.de

Durchführung: 16.05.2022

Abgabe: 03.07.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
2.1 Tomographie . . . . .	3
2.2 Projektionen . . . . .	3
2.3 Absorptionsphänomene . . . . .	5
2.4 Gammaskpektrum von $^{137}\text{Cs}$ . . . . .	5
<b>3 Aufbau und Durchführung</b>	<b>6</b>
3.1 Aufbau . . . . .	6
3.2 Durchführung . . . . .	7
<b>4 Auswertung</b>	<b>8</b>
4.1 Spektrum eines $^{137}\text{Cs}$ -Strahlers . . . . .	8
4.2 Würfel 1 . . . . .	9
4.3 Würfel 2 . . . . .	9
4.4 Würfel 3 . . . . .	10
4.5 Würfel 4 . . . . .	10
<b>5 Diskussion</b>	<b>12</b>
<b>6 Anhang</b>	<b>14</b>
<b>Literatur</b>	<b>15</b>

# 1 Zielsetzung

In diesem Versuch sollen mithilfe der Tomographie mit Gamma-Strahlung verschiedene Würfel auf ihre Zusammensetzung untersucht werden. Der Fokus liegt dabei auf dem Verständnis von Tomographie als bildgebendes Verfahren und der Funktionsweise eines Szintillationsdetektors.

## 2 Theorie

### 2.1 Tomographie

Die Tomographie ist ein bildgebendes Verfahren. Wird ein Objekt bestrahlt, so entstehen zweidimensionale Bildschnitte, welche nach Überlagerung den ganzen Körper darstellen können. Trifft Strahlung auf Materie, wird diese durch Wechselwirkungen abgeschwächt. Dabei ergibt sich für die gemessene Zählrate  $R$  folgender Zusammenhang:

$$R = R_0 \cdot \exp\left(-\sum_i \mu_i d_i\right).$$

$R_0$  beschreibt die Eingangszählrate,  $\mu_i$  den Absorptionskoeffizienten und  $d_i$  die zurückgelegte Strecke nach Strahlrichtung  $i$ . Dabei wird von stückweisen konstanten Absorptionskoeffizienten ausgegangen. Sind Eingangs- und Ausgangszählrate bekannt, kann durch Logarithmieren ein Ausdruck für den Absorptionskoeffizienten aufgestellt werden:

$$\sum_i \mu_i d_i = \ln\left(\frac{R_0}{R}\right). \quad (1)$$

Durch die 12 verschiedenen Projektionen in der Messung und die unbekannte Zusammensetzung des zu messenden Würfels entsteht ein lineares Gleichungssystem, sodass (1) in Matrixschreibweise dargestellt werden kann:

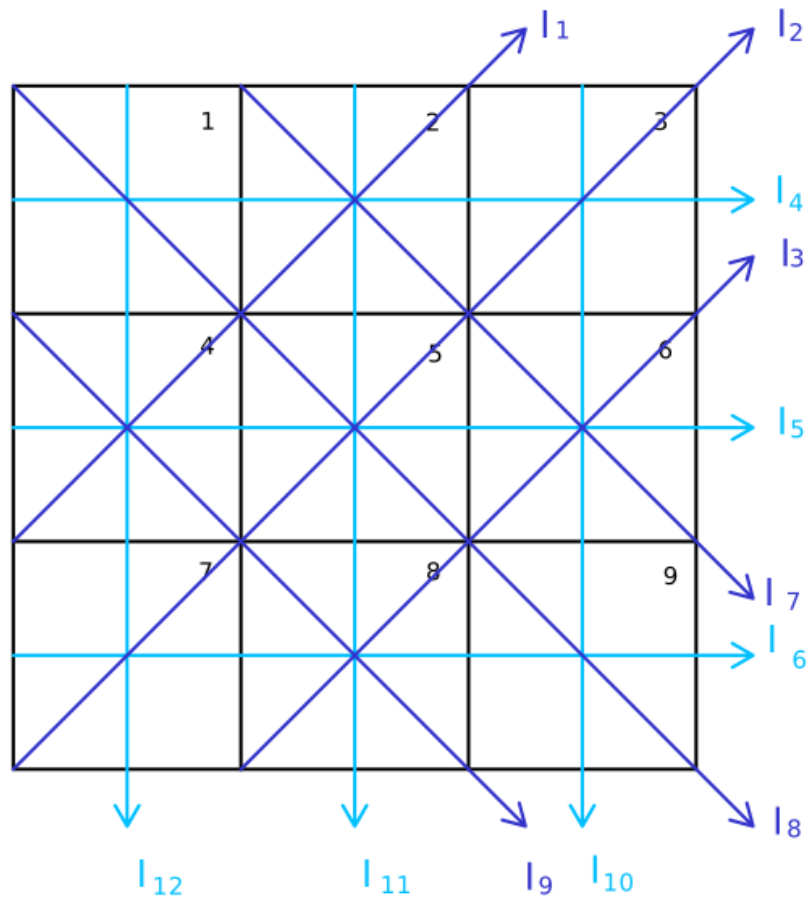
$$A\vec{\mu} = \vec{I}, \quad (2)$$

wobei  $\vec{I}$  ein Vektor mit den zwölf Einträgen  $\vec{I}_i = \ln\left(\frac{R_0}{R_i}\right)$  mit der gemessenen Zählrate  $R_i$  in der Projektion  $i$  ist. Die Matrix  $A$  die verschiedenen Strecken, die bei einer Projektion durch ein Material von der Strahlung durchlaufen werden. Die Matrix  $A$  sollte nicht singulär sein, damit die Werte für die Absorptionskoeffizienten durch eine Ausgleichsrechnung mit dem Verfahren für die kleinsten Quadrate ermittelt werden können. Es ergibt sich folgender Ausdruck für den Absorptionskoeffizienten  $\mu$ :

$$\vec{\mu} = (A^\top \cdot A)^{-1} \cdot A^\top \vec{I}$$

### 2.2 Projektionen

Um keine singuläre Matrix  $A$  zu erhalten, werden die in Abbildung 1 gezeigten Projektionen für die Messungen verwendet. Insgesamt gibt es 12 Projektionsrichtungen.



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung der verwendeten Projektionen. Die Benennung der kleineren Würfel erfolgt auch nach dieser Abbildung, wobei die Zahl auf dem Würfel aufrecht zu lesen ist

Die Matrix  $A$  nimmt somit die folgende Form an, wenn  $d$  die Seitenlänge der kleineren

Würfel ist:

$$A = d \begin{pmatrix} 0 & \sqrt{2} & 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 & \sqrt{2} & 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 & \sqrt{2} & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 0 \\ \sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} \\ 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

### 2.3 Absorptionsphänomene

Da Gamma-Strahlung verwendet wird, wird im Folgenden auf die Hauptwechselwirkungen eingegangen. Die drei wichtigsten Effekte, die bei Photon-Materie Wechselwirkungen auftreten, sind Photoeffekt, Comptoneffekt und Paarbildung.

- Photoeffekt: Wenn ein Photon mindestens eine Energie hat, die so groß ist wie die Bindungsenergie eines Elektrons, dann kann das Elektron durch Aufnahme der Photonenenergie das Atom verlassen.
- Comptoneffekt: Dieser Effekt beschreibt einen elastischen Stoß zwischen Photon und Elektron. Das Photon wird an einem Elektron gestreut und gibt dabei einen Teil seiner Energie ab. Es hat nach dem Stoß eine andere Wellenlänge. Wichtig ist, dass nach dem Stoß das Photon weiter existiert.
- Paarbildung: Wenn die Energie eines Photons die Energie eines Elektron-Positron Paares entspricht, kann sich dieses Photon in diese beiden Teilchen aufteilen. Dazu muss es auch in der Nähe des Atomkerns sein, welches als Stoßpartner fungiert.

In diesem Versuch sind die beobachtbaren Effekte der Compton und Photoeffekt. Da die Energie der Gamma-Strahlung bei 662 keV [3] liegt, kommt es zu keiner Paarbildung. Die dafür benötigte Energie muss bei  $2 \cdot 511$  keV liegen.

### 2.4 Gammaspektrum von $^{137}\text{Cs}$

In Abbildung 2 ist das Spektrum von  $^{137}\text{Cs}$  zu sehen. Der Photopeak bzw. der Full Energy Peak ist deutlich bei einer Energie von 662 keV zu erkennen. Die Comptonkante befindet sich bei einer Energie von ungefähr 460 keV. Dies entspricht einem Streuwinkel von  $\theta = 180^\circ$ . Der Rückstreupeak, der auch gekennzeichnet ist, entspricht Comptonphotonen, die nach Comptonstreuung mit z.B. der Rückwand der Präparathalterung, in den Szintillationsdetektor kommen.

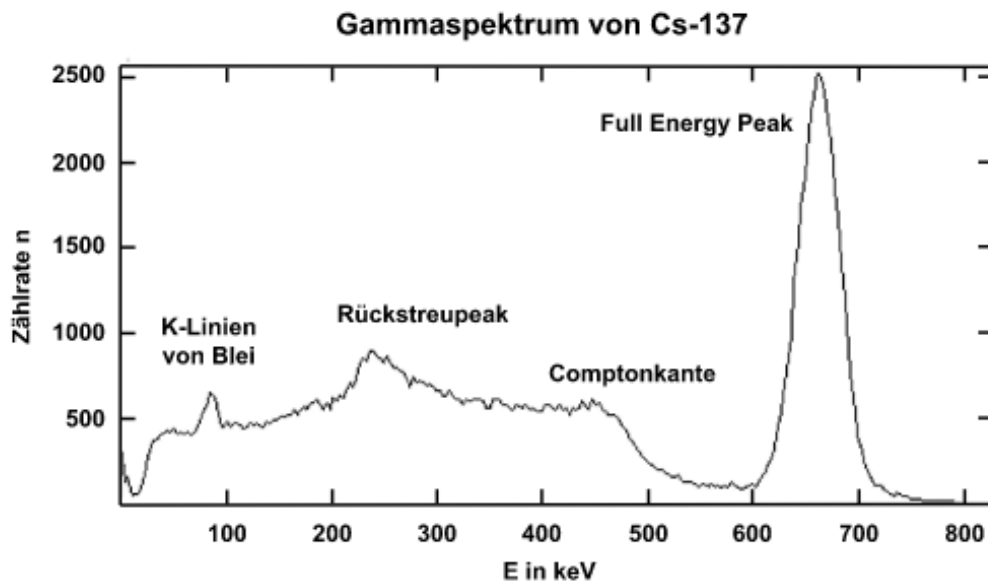


Abbildung 2: Gammaspektrum von  $^{137}\text{Cs}$ . [3]

### 3 Aufbau und Durchführung

#### 3.1 Aufbau

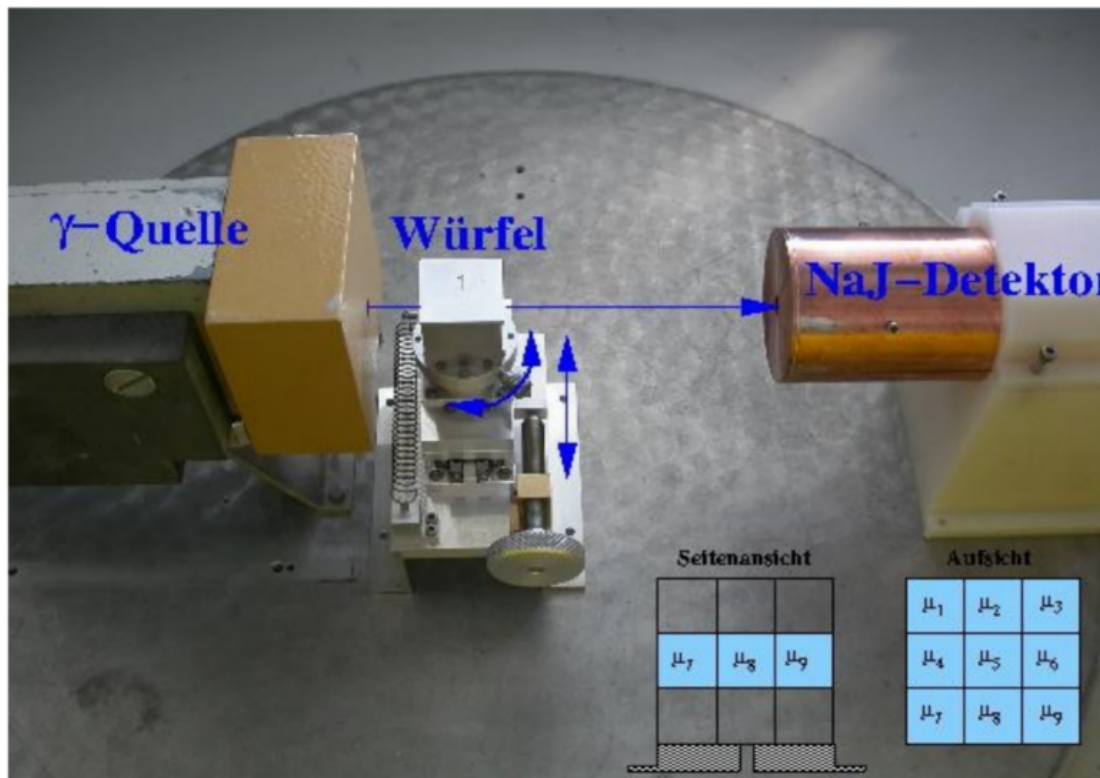
In Abbildung 3 ist der Versuchsaufbau zu finden. Als Gamma-Strahlungsquelle wird  $^{137}\text{Cs}$  verwendet. Eine Bleiabschirmung mit einem Loch mit 3 mm Durchmesser dient zur Kollimierung. Daneben befindet sich die verstellbare Plattform für den Würfel. Dadurch kann der Würfel um seine eigene Achse gedreht, sowie entlang der y-Achse verschoben werden. Zum Schluss ist der Szintillationsdetektor, der die abgeschwächten Strahlungen misst.

Das Material des Szintillationsdetektor bzw. die Atome werden durch die Gamma-Strahlung angeregt. Durch Emission eines Photons mit Wellenlänge im sichtbaren Bereich kehrt das angeregte Atom zurück zum Grundzustand. Das verwendete Material des Szintillationsdetektors ist ein Natriumiodidkristall. Am Szintillationsdetektor sind Photomultiplier, Diskriminator und Multichannelanalyzer angeschlossen. Das eben emittierte Photon trifft auf die Photokathode im Photomultiplier auf und löst aufgrund des Photoeffekts ein Elektron aus. Durch eine angelegte Spannung wird dieser Prozess wiederholt und er ergibt sich ein elektronisches Signal, welches proportional zu Energie der Strahlung ist. Der Diskriminator sorgt für eine Rauschminderung und der Multichannelanalyzer nimmt die gemessenen Werte auf und sortiert sie in bestimmte Abschnitte, er zeigt sie in einem Histogramm an.

Ein Szintillationsdetektor ist wegen seiner kurzen Tot- und Erholungszeit gut geeignet für das Experiment. Die Eigenschaft, dass die elektrischen Impulse proportional zur

Strahlungsenergie sind, gibt erst die Möglichkeit das Spektrum der Quelle auszunehmen und ermöglicht zur genaueren Ermittlung der Absorptionskoeffizienten die Benutzung von nur der Anzahl der Ereignisse im Photopeak.

Bei den zu untersuchenden Objekten handelt es sich um  $3 \times 3 \times 3 \text{ cm}$  Würfel bestehend aus einem Aluminiumgehäuse, welches die inneren 27 Elementarwürfel zusammenhält. Insgesamt werden vier Würfel durchstrahlt. Würfel 1 ist ein hohler Würfel bzw. besteht nur aus dem Gehäuse. Würfel 2 und 3 sind mit Elementarwürfeln eines Materials gefüllt und sind somit jeweils homogen. Würfel 4 besteht aus einer heterogenen Mischung aus Elementarwürfeln. Mögliche Materialien sind Aluminium, Messing, Delrin, Blei und Eisen.



**Abbildung 3:** Der Versuchsaufbau. Links befindet sich die Gamma-Quelle, mittig die verstellbare Plattform für die Würfel und rechts ist der Szintillationsdetektor zu sehen. [2]

### 3.2 Durchführung

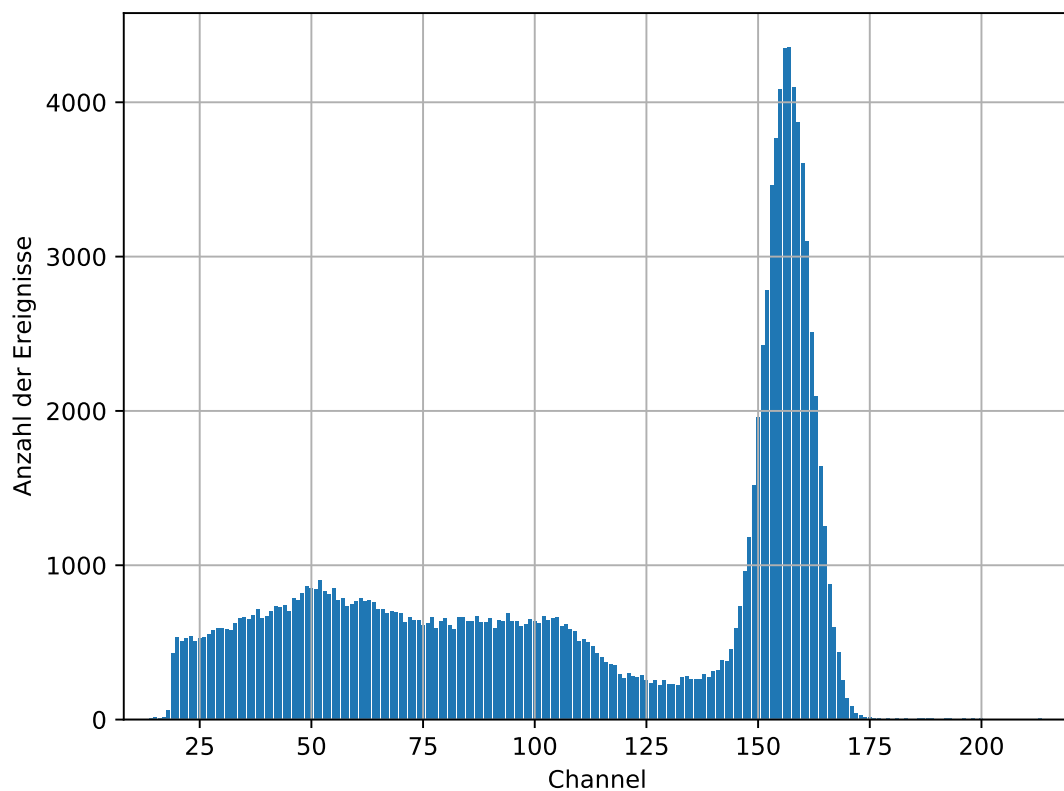
Zunächst wird das Spektrum der  $^{137}\text{Cs}$  Quelle aufgenommen. Dafür wird für 300 s lang gemessen, ein Würfel wird hier noch nicht eingesetzt. Danach werden die insgesamt vier Würfel durchstrahlt und die Messwerte aufgenommen. Es wird das a priori Wissen genutzt, dass Würfel 1, 2 und 3 homogen sind. Somit werden für die homogenen Würfel nur 3 bzw. 6 Projektionsmessungen statt 12 durchgeführt. Bei Würfel 4 werden alle 12

Projektionen vermessen. Die Messzeit für eine Strahlrichtung beträgt standardmäßig für jeden Würfel 300 s. Da eine relative statistische Unsicherheit von 3 % gewünscht ist und die Anzahl an Ereignissen  $N$  den Fehler  $\sigma N = \sqrt{N}$  hat, sollen über 1000 Ereignisse gemessen werden. Falls dies bei  $t = 300$  s nicht der Fall ist, wird eine zweite Messung gestartet und aufaddiert.

## 4 Auswertung

### 4.1 Spektrum eines $^{137}\text{Cs}$ -Strahlers

Es wird das Spektrum des im Versuchs benutzten Strahlers mithilfe des NaI-Szintillationsdetektors aufgezeichnet. In der Abbildung 4 ist die Anzahl der Ereignisse in einem bestimmten Channel histogrammiert.



**Abbildung 4:** Das Spektrum der  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle, aufgenommen mit einem NaI-Szintillationsdetektor.

In der Abbildung 4 ist bei ungefähr Channel 50 der Rückstrahlpeak zu sehen und bei ungefähr Channel 105 die Comptonkante. Der Photopeak befindet sich ungefähr bei Channel 165.



## 4.2 Würfel 1

Zuerst wird ein leerer Würfel gemessen, welcher nur aus der Aluminiumhülle besteht, die alle folgenden Würfel umgibt. Diese Zählraten  $R_0$  werden dementsprechend in den nachfolgenden Rechnungen als Nullmessung genutzt.

Die aufgenommenen Werte, die Anzahl  $N$  der Ereignisse, sind in der Tabelle 1 zu finden mit der jeweiligen Zählrate  $R_0$ , die Aufnahmezeit beträgt jeweils  $t = 300$  s. Es wird nur der Channel mit der höchsten Anzahl an Ereignissen zur Auswertung genommen, da es sich hierbei um den Channel unter dem Photopeak handelt.

**Tabelle 1:** Die gemessene Anzahl der Ereignisse und die entsprechende Zählrate der Messung des leeren Würfel 1, der nur aus der Aluminiumhülle besteht.

Strahlengang	$N$	$R_0 / (1/\text{s})$
Hauptdiagonale ( $I_2$ )	$4148,0 \pm 64,4$	$13,83 \pm 0,22$
Nebendiagonale ( $I_1$ )	$4098,0 \pm 64,0$	$13,66 \pm 0,21$
Gerade ( $I_5$ )	$4038,0 \pm 63,5$	$13,46 \pm 0,21$

Der Fehler der Anzahl der Ereignisse bestimmt sich als Poissonverteilt und beträgt somit  $\sigma_N = \sqrt{N}$ . Nach dem Zusammenhang

$$R = \frac{N}{t}$$

und der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung ergibt sich der Fehler der Zählraten zu

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_N^2 \left(\frac{1}{t}\right)^2 + \sigma_t \left(-\frac{N}{t^2}\right)} = \frac{\sigma_N}{t},$$

wobei im letzten Schritt  $\sigma_t = 0$  gesetzt wird.

## 4.3 Würfel 2

Der Würfel 2 ist homogen, daher werden nicht alle 12 Projektionen gemessen. Die maximale Anzahl der Ereignisse in einem Channel sind mit Fehler in der Tabelle 2 zu finden neben der jeweiligen Zählrate. Die Messzeit beträgt auch hier immer  $t = 300$  s. Der Absorptionskoeffizient berechnet sich dann nach

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{R_0}{R}\right)}{d},$$

wobei  $R_0$  die Nullmessung der entsprechenden Projektion ist und  $d$  die Strecke, welche die Gamma-Strahlung durch die Würfelebene zurücklegt.

**Tabelle 2:** Die Messwerte und daraus errechneten Werte der Messung des Würfel 2.

Projektion	$N$	$R / (1/s)$	$\mu / (1/cm)$
$I_1$	$2567,0 \pm 50,7$	$8,56 \pm 0,17$	$0,165\,379 \pm 0,008\,899$
$I_2$	$2213,0 \pm 47,0$	$7,38 \pm 0,16$	$0,148\,086 \pm 0,006\,205$
$I_7$	$3035,0 \pm 55,1$	$10,12 \pm 0,18$	$0,106\,168 \pm 0,008\,467$
$I_8$	$3159,0 \pm 56,2$	$10,53 \pm 0,19$	$0,064\,198 \pm 0,005\,566$
$I_{11}$	$3298,0 \pm 57,4$	$10,99 \pm 0,19$	$0,067\,478 \pm 0,007\,823$
$I_{12}$	$3187,0 \pm 56,5$	$10,62 \pm 0,19$	$0,078\,890 \pm 0,007\,898$

Für den Absorptionskoeffizienten des Materials, aus dem der Würfel 2 besteht, wird über die Werte in Tabelle 2 gemittelt und es ergibt sich der Wert:

$$\mu_{\text{Würfel 2}} = (0,105 \pm 0,006) \frac{1}{\text{cm}}$$

#### 4.4 Würfel 3

Der Würfel 3 ist, genauso wie der Würfel 2, homogen, sodass wieder nicht alle Projektionen gemessen werden. Die aufgenommenen Werte sind in der Tabelle 3 zu finden, die Berechnung erfolgt analog der Rechnung zu Würfel 2. Die Messzeit beträgt hier  $t = 600$  s.

**Tabelle 3:** Die Messwerte und daraus errechneten Werte der Messung des Würfel 3.

Projektion	$N$	$R / (1/s)$	$\mu / (1/cm)$
$I_5$	$202,0 \pm 14,2$	$0,34 \pm 0,02$	$1,460\,510 \pm 0,024\,033$
$I_7$	$203,0 \pm 14,2$	$0,34 \pm 0,02$	$1,552\,574 \pm 0,025\,422$
$I_8$	$184,0 \pm 13,6$	$0,31 \pm 0,02$	$1,061\,070 \pm 0,017\,757$

Der gemittelte Wert des Absorptionskoeffizienten ergibt sich dann zu:

$$\mu_{\text{Würfel 3}} = (1,358 \pm 0,071) \frac{1}{\text{cm}}$$

#### 4.5 Würfel 4

Der Würfel 4 besteht aus 27 kleineren Würfeln unterschiedlicher Materialien. Es wird eine Ebene des Würfels aus 9 kleineren Würfeln mit allen 12 Projektionen ausgemessen. Damit ist das Gleichungssystem überbestimmt, sodass ein Kleinste-Quadrate Fit durchgeführt wird. Für die Absorptionskoeffizienten gilt die Gleichung (2) und es ergibt sich folgender Lösungsansatz:

$$\vec{\mu} = (A^\top \cdot A)^{-1} \cdot A^\top \vec{I}$$

Die Fehler der Absorptionskoeffizienten  $\mu_i$  stehen quadriert auf der Hauptdiagonale der Kovarianzmatrix  $V[\vec{\mu}]$ , welche sich wie folgt berechnet:

$$V[\vec{\mu}] = (A^\top \cdot A)^{-1} \cdot A^\top V[\vec{I}] A \cdot ((A^\top \cdot A)^{-1})^\top$$

Die Kovarianzmatrix  $V[\vec{I}]$  ist eine Diagonalmatrix mit den Varianzen der  $\vec{I}_i$  auf der Hauptdiagonale, da diese nicht korreliert sind.

In der Tabelle 4 sind die größten Anzahlen an Ereignissen aus einem Channel neben der daraus errechneten Zählraten. Die Messzeit beträgt  $t = 300$  s.

**Tabelle 4:** Die gemessenen Anzahlen der Ereignisse unter dem Photopeak und die daraus errechneten Werte  $I_i$  von der Messung des Würfel 4.

Projektion	$N$	$I / (1/\text{s})$
$I_1$	$849,0 \pm 29,1$	$1,57 \pm 0,04$
$I_2$	$482,0 \pm 22,0$	$2,15 \pm 0,05$
$I_3$	$946,0 \pm 30,8$	$1,47 \pm 0,04$
$I_4$	$655,0 \pm 25,6$	$1,82 \pm 0,04$
$I_5$	$910,0 \pm 30,2$	$1,49 \pm 0,04$
$I_6$	$1031,0 \pm 32,1$	$1,37 \pm 0,03$
$I_7$	$618,0 \pm 24,9$	$1,89 \pm 0,04$
$I_8$	$550,0 \pm 23,5$	$2,02 \pm 0,05$
$I_9$	$706,0 \pm 26,6$	$1,76 \pm 0,04$
$I_{10}$	$3064,0 \pm 55,4$	$0,28 \pm 0,02$
$I_{11}$	$158,0 \pm 12,6$	$3,24 \pm 0,08$
$I_{12}$	$3041,0 \pm 55,1$	$0,28 \pm 0,02$

Die mithilfe des Kleinste-Quadrate Fittes bestimmten Absorptionskoeffizienten  $\vec{\mu}_i$  sind in der Tabelle 5 zu finden. Dabei stehen die Absorptionskoeffizienten der Stoffe, die am nächsten an den ermittelten Werte liegen.

**Tabelle 5:** Die ermittelten Werte für die Absorptionskoeffizienten der verschiedenen kleineren Würfel neben dem vermuteten Stoff.

Würfel	$\mu / (1/\text{cm})$	Stoff	$\mu_{\text{lit}} / 1/\text{cm}$
1	$0,238 \pm 0,024$	Aluminium	0,211
2	$1,148 \pm 0,023$	Blei	1,415
3	$0,276 \pm 0,024$	Aluminium	0,211
4	$0,080 \pm 0,020$	Holz	0,024 - 0,096
5	$1,154 \pm 0,025$	Blei	1,415
6	$0,089 \pm 0,020$	Holz	0,024 - 0,096
7	$0,100 \pm 0,023$	Holz	0,024 - 0,096
8	$1,063 \pm 0,023$	Blei	1,415
9	$0,045 \pm 0,023$	Holz	0,024 - 0,096

## 5 Diskussion

Zur Identifizierung der Materialien, aus denen die Würfel bestehen können, werden die Literaturwerte für mögliche Materialien in der Tabelle 6 aufgelistet.

**Tabelle 6:** Die Literaturwerte des Massenschwächungskoeffizienten  $\sigma$  [4], der Stoffdichte  $\rho$  [1] und dem Absorptionskoeffizienten  $\mu$  der mögliche Materialien. Für Holz werden die Werte aus [5] entnommen.

Stoff	$\sigma / (10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g})$	$\rho / (\text{g}/\text{cm}^3)$	$\mu / (1/\text{cm})$
Aluminium	7,802	2,7	0,211
Blei	12,48	11,34	1,415
Eisen	7,704	7,87	0,606
Messing	7,651	8,4	0,642
Holz	8,0	0,3 - 1,2	0,024 - 0,096

Die beiden homogenen Würfel 2 und 3 werden jeweils nur mit weniger Projektionen gemessen. Zur Identifizierung der Materialien werden die experimentell ermittelten Absorptionskoeffizienten mit den Werten aus der Tabelle 6 verglichen. Der Absorptionskoeffizient des Würfel 2 wird zu

$$\mu_{\text{Würfel 2}} = (0,105 \pm 0,006) \frac{1}{\text{cm}}$$

bestimmt, sodass vermutet wird, dass es sich um einen Würfel aus Holz handelt, welches einen Absorptionskoeffizienten im Bereich von  $\mu_{\text{Holz}} \in [0,024 \text{ cm}^{-1}, 0,096 \text{ cm}^{-1}]$  hat. Damit ergibt sich eine Abweichung zur oberen Grenze von

$$\Delta\mu_{\text{Würfel 2}} = (9 \pm 7) \%,$$

welche über die Formel  $\Delta x = 1 - \frac{x_{\text{exp}}}{x_{\text{lit}}}$  berechnet wird.

Für den Absorptionskoeffizienten von Würfel 3 wird

$$\mu_{\text{Würfel 3}} = (1,358 \pm 0,071) \frac{1}{\text{cm}}$$

ermittelt. Es wird vermutet, dass es sich um einen Würfel aus Blei handelt,  $\mu_{\text{Blei}} = 1,415 \text{ cm}^{-1}$ . Der gemessene Wert weicht um

$$\Delta\mu_{\text{Würfel 3}} = (4 \pm 5) \%$$

von dem Literaturwert ab.

Der Würfel 4 besteht aus 27 verschiedenen kleineren Würfeln, da nur eine Ebene untersucht wird, werden 9 dieser Würfel bestimmt. Der experimentell ermittelten Wert ist neben dem vermuteten Stoff und der relativen Abweichung in der Tabelle 7 aufgelistet. Da bei Holz die Dichte  $\rho$  ja nach verwendeter Holzart und Feuchte des Holzes stark unterschiedliche Werte annimmt, ist es schwierig einen festen Literaturwert anzugeben. In der Tabelle 6 wird dies über die Angabe eines Bereiches umgangen. Hier werden nun keine Theoriewerte

und keine Abweichungen bestimmt, wenn der ermittelte Wert in dem angegebenen Bereich liegt. Der Wert des Absorptionskoeffizienten, der für den Würfel 7 ermittelt wurde, liegt leicht oberhalb des Bereiches, sodass eine Abweichung von der oberen Grenze berechnet wird.

**Tabelle 7:** Die ermittelten Werte für die Absorptionskoeffizienten der verschiedenen kleineren Würfel neben dem vermuteten Stoff und der jeweiligen Abweichung.

Würfel	$\mu / 1/\text{cm}$	$\mu_{\text{lit}} / 1/\text{cm}$	Stoff	$\Delta\mu / \%$
1	$0,238 \pm 0,024$	0,211	Aluminium	13 $\pm$ 11
2	$1,148 \pm 0,023$	1,415	Blei	18,8 $\pm$ 1,7
3	$0,276 \pm 0,024$	0,211	Aluminium	31 $\pm$ 12
4	$0,080 \pm 0,020$		Holz	$\pm$
5	$1,154 \pm 0,025$	1,415	Blei	18,4 $\pm$ 1,8
6	$0,089 \pm 0,020$		Holz	$\pm$
7	$0,100 \pm 0,023$	0,096	Holz	5 $\pm$ 25
8	$1,063 \pm 0,023$	1,415	Blei	24,9 $\pm$ 1,7
9	$0,045 \pm 0,023$		Holz	$\pm$

Es ist zu sehen, dass die Zuordnung der Materialien bei Würfel 4 deutlich weniger genau ist als bei den homogenen Würfeln 2 und 3. Ein Grund dafür ist, dass sich der Strahl hinter der Lochblende der Quelle kegelförmig ausbreitet, und so nicht nur durch die gewählten Würfel geht. Besonders bei den Diagonalmessungen ist dieser Effekt groß. Dazu kommt die Einstellung des Strahlengangs per Augenmaß. Es wird also auch in anderen, bei einer Projektion nicht beachteten Würfeln mitabsorbiert, sodass die Messung deutlich verfälscht wird. Es hätten natürlich andere Projektionen gewählt werden können, welche die Auswertung aber mathematisch verkomplizieren.

## 6 Anhang

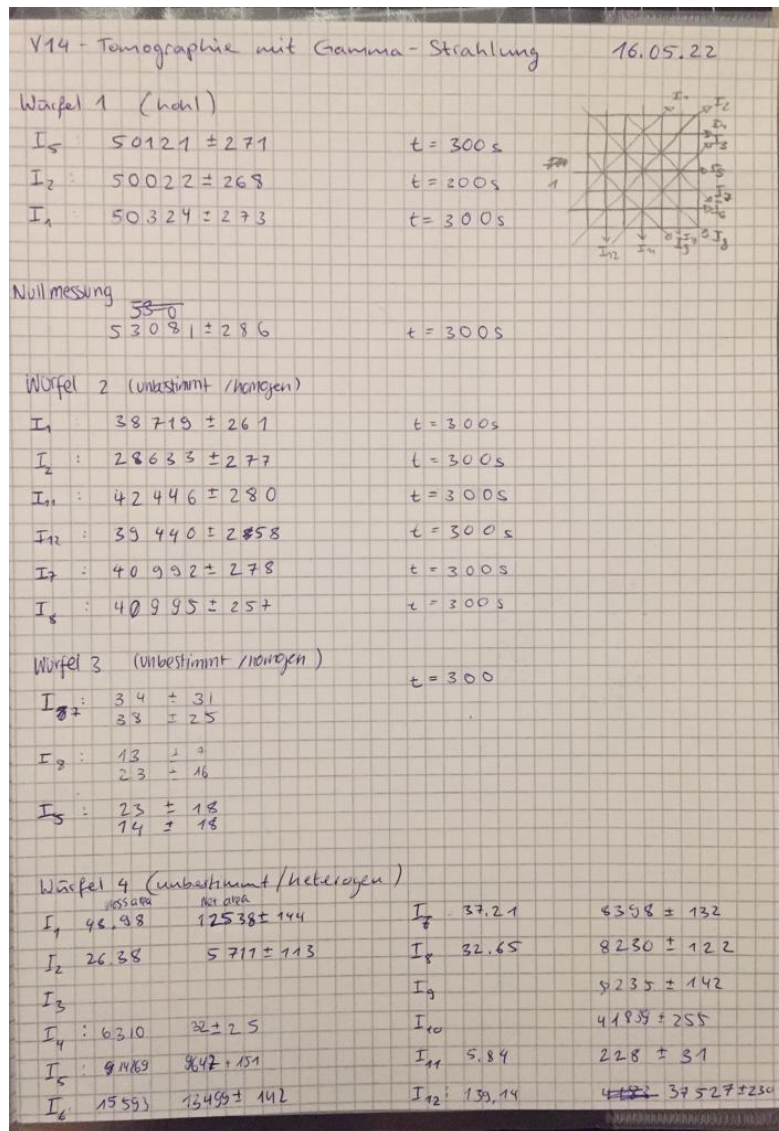


Abbildung 5: Die Originaldaten von der Versuchsdurchführung.

## Literatur

- [1] *chemie.de*. URL: <https://www.chemie.de/lexikon/> (besucht am 13.05.2022).
- [2] TU Dortmund. *Versuch 14: Tomographie mit Gamma-Strahlung*. 2022.
- [3] *leifiphysik.de*. URL: <https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-fortfuehrung/versuche/gammaspektrum-von-cs-137> (besucht am 19.05.2022).
- [4] *National Institute of Standards and Technology*. URL: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html> (besucht am 13.05.2022).
- [5] B Saritha und A S Nageswara Rao. „A study on photon attenuation coefficients of different wood materials with different densities“. In: *Journal of Physics: Conference Series* 662 (Dez. 2015), S. 012030. DOI: 10.1088/1742-6596/662/1/012030. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/662/1/012030>.