

Versuch 90: Gammaspektroskopie



durchgeführt am 19.03.2021

Assistent:



#Gruppennummer

Inhaltsverzeichnis

Farbe

1 Ziel des Versuchs	3
2 Versuchsaufbau und Durchführung	4
3 Auswertung und Fehleranalyse	6
3.1 Kalibrierung des Gammaspektrometers	6
3.1.1 Natrium-22	6
3.1.2 Cäsium-137	7
3.1.3 Cobalt-60	8
3.1.4 Faktor des Gammaspektrometers	9
3.1.5 Energieauflösung des Gammaspektrometers	10
3.2 Identifikation von radioaktiven Nukliden in der unbekannten Probe	10
3.3 Identifikation von radioaktiven Nukliden in den Kalibrierungsquellen	13
4 Zusammenfassung und Diskussion	14
4.1 Kalibrierung des Gammaspektrometers	14
4.2 Energieauflösung des Gammaspektrometers	15
4.3 Identifikation von radioaktiven Nukliden	15
4.4 Fazit und mögliche Verbesserungen der Messmethoden	16
Literaturverzeichnis	17
Abbildungsverzeichnis	17
Tabellenverzeichnis	18
5 Anhang	20

1 Ziel des Versuchs

In diesem Versuch wird mithilfe eines Gammaspektrometers die Radioaktivität verschiedener Quellen untersucht.

Zunächst wird dabei das Gammaspektrometer mithilfe der Nuklide Natrium-22, Cäsium-137 und Cobalt-60, deren Gammaspektrum bekannt ist, kalibriert. Anschließend wird das Gamma-spektrum eines unbekannten radioaktiven Nuklids aufgenommen, das mithilfe der zuvor vorgenommenen Kalibrierung identifiziert werden kann. Berücksichtigt wird dabei auch das Gamma-spektrum der Untergrundstrahlung.

2 Versuchsaufbau und Durchführung

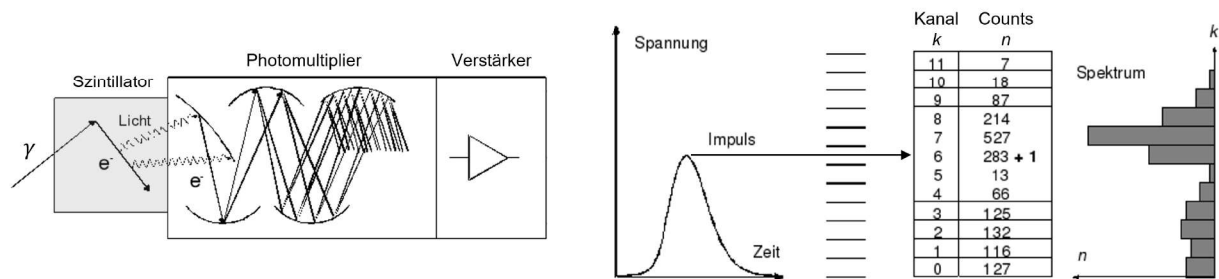


Abb. 2.1: Gammaspektrometer: Szintillationsdetektor und Mehrkanalanalysator [1]

Verwendet wird für den Versuch ein Gammaspektrometer, das aus einem Szintillationsdetektor und einem computerbasierten Mehrkanalanalysator (siehe Abbildung 2.1) besteht. In das zum Szintillationsdetektor gehörende nach außen abgeschirmte Behältnis können dabei die radioaktiven Proben eingebracht und der Detektor, der an zwei Metallstangen verschiebbar darüber befestigt ist, nach unten geschoben werden. Mithilfe des Mehrkanalanalysators und des Computerprogramms PRA wird dann das Gammaspektrum dieser Probe gemessen und im Computerprogramm als „Pulse-Height-Histogram“, also als Histogramm mit der Kanalnummer k auf der x-Achse und den in jedem Kanal registrierten Impulsen (Counts) N auf der y-Achse, dargestellt. Je länger die Messung läuft, desto deutlicher und genauer ist das Spektrum.

Im ersten Versuchsteil wird zur Kalibrierung des Spektrometers nun genau so das Gammaspektrum der radioaktiven Nuklide Natrium-22, Cäsium-137 und Cobalt-60 gemessen. Die Messung sollte dabei für jedes Nuklid etwa fünf Minuten lang laufen. Die Daten des dabei entstehenden Histogramms werden am Ende der Messung dann jeweils in eine Textdatei exportiert.

Die Lage der Peaks im Gammaspektrum dieser drei Nuklide ist bekannt [2, 4]:

- Natrium-22 zerfällt zunächst mit β^+ -Zerfall zu einem angeregten Neon-22-Kern, wobei das dabei ausgesendete Positron sich mit einem Elektron vernichtet, wobei wiederum zwei Photonen mit einer Energie von $E = 511 \text{ keV}$ entstehen - an dieser Stelle liegt auch der erste Peak von Natrium. Der zweite Peak von Natrium liegt bei einer Energie von $E = 1277 \text{ keV}$, was der Energie des γ -Quants entspricht, die der Neon-22-Kern schließlich beim Übergang in den Grundzustand aussendet.
- Cäsium-137 zerfällt unter β^- -Zerfall zunächst zu einem angeregten Barium-137-Kern, der wiederum unter Aussendung eines γ -Quants mit der Energie $E = 662 \text{ keV}$ in den Grundzustand übergeht. Bei der Energie dieses γ -Quants liegt der Peak des Cäsium-137-Gammaspektrums.
- Cobalt-60 wiederum zerfällt unter β^- -Zerfall zunächst zu einem angeregten Nickel-60-Kern, der dann unter Aussendung zweier γ -Quanten der Energien $E = 1172 \text{ keV}$ und $E = 1333 \text{ keV}$ in den Grundzustand übergeht. Bei diesen beiden Energien liegen die beiden Peaks des Cobalt-60-Gammaspektrums.

Mithilfe dieser bekannten Energien für die Peaks und den mit dem Mehrkanalanalysator bestimmten Spektren lässt sich nun der bisher unbekannte Umrechnungsfaktor für die Umrechnung

der Kanalnummer k zur Energie E bestimmen.

Im zweiten Versuchsteil wird nun, analog zum ersten Versuchsteil, das Gammaspektrum einer unbekannten radioaktiven Probe aufgenommen. Die Messung sollte hier jedoch zur Verbesserung der Genauigkeit deutlich länger laufen und etwa zwischen 40 und 60 Minuten dauern. Außerdem sollte, zur späteren Bestimmung der Zählrate, bei dieser Messung die genaue Dauer der Messung notiert werden – diese wird auch im Computerprogramm angezeigt.

Um Einflüsse der durch natürliche ~~Umgebung~~radioaktivität und andere Faktoren bedingten Untergrundstrahlung auf das Gammaspektrum der unbekannten Probe erkennen zu können, wird außerdem auch noch das Gammaspektrum dieser Untergrundstrahlung gemessen. Die Messung wird dabei auch wieder analog zum ersten und zweiten Versuchsteil durchgeführt, mit dem Unterschied, dass sich keine Probe im Behälter des Szintillationsdetektors befindet. Auch diese Messung sollte wieder etwa 60 Minuten dauern, und auch hier muss wieder die Dauer der Messung notiert werden.

3 Auswertung und Fehleranalyse

3.1 Kalibrierung des Gammaspektrometers

Zunächst wird das Gammaspektrometer mit bekannten radioaktiven Quellen kalibriert. Dazu werden die Spektren von Na-22, Cs-137 und Co-60 mit einem Gammaspektrometer, welches aus einem Szintillationsdetektor und einem Mehrkanalanalysator besteht, aufgenommen. Das so entstandene Pulshöhenspektrum entspricht bis auf einem unbekannten Faktor dem Energiespektrum der einfallenden γ -Quanten. Dieser Faktor soll im folgenden über die aufgenommenen Spektren der Kalibrierungsquellen bestimmt werden.

3.1.1 Natrium-22

Das im Versuch aufgenommene Pulshöhenspektrum des Na-22-Präparats ist in Abbildung 3.1 dargestellt.

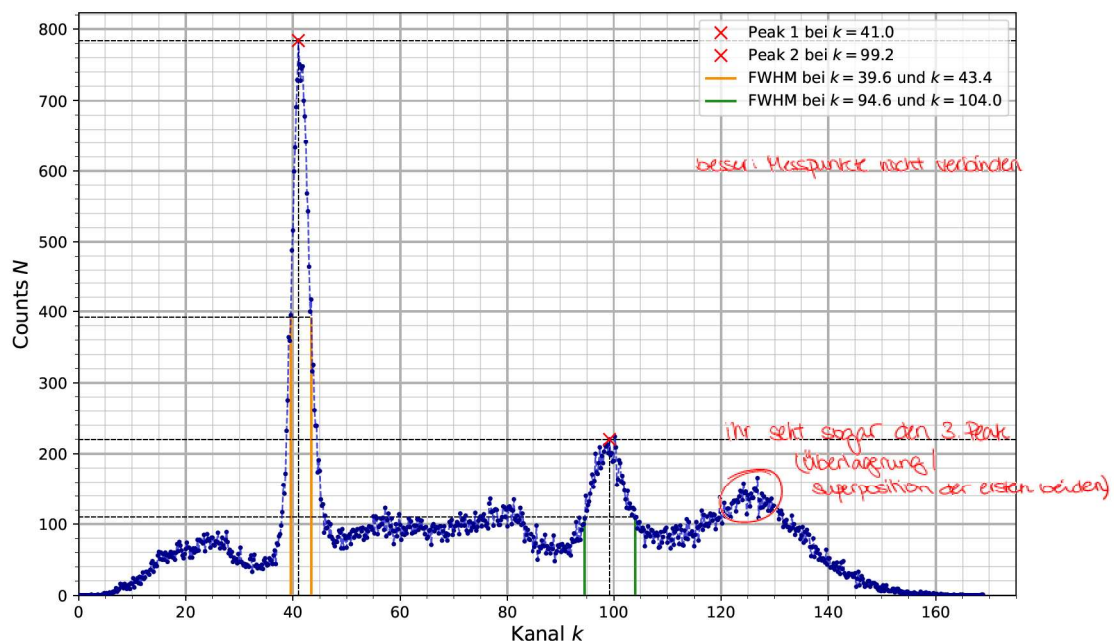


Abb. 3.1: Mit einem Gammaspektrometer aufgenommenes Pulshöhenspektrum der Gammastrahlung beim Zerfall des Na-22-Präparats

Aus Abbildung 3.1 können nun die bekannten Übergänge mit den zugehörigen Kanalnummern identifiziert werden.

Die bekannten Übergänge von Na-22 liegen dabei bei $E_1 = 511$ keV und $E_2 = 1277$ keV. Für diese Peaks lassen sich aus dem Spektrum die Kanalnummern, die in Tabelle 3.1 aufgelistet sind, ablesen.

Außerdem ist deutlich ein weiterer, nicht mit den Übergängen von Na-22 identifizierbarer Peak erkennbar. Dieser wird in Abschnitt 3.3 genauer betrachtet.

Peak	Energie E in keV	Kanalnummer k	s_k	x_1	x_2
1	511	41,0	1,6	39,6	43,4
2	1277	99,2	4,0	94,6	104,0

Tab. 3.1: Zuordnung von Kanalnummer k und Energie E für die Peaks des Na-22-Spektrums

Die Unsicherheit auf die Kanalnummer des jeweiligen Peaks ergibt sich dabei aus der Gaußverteilung, welche diesen Peaks zugrunde liegt. Danach entspricht die Halbwertsbreite der Verteilung dem $2\sqrt{2\ln(2)}$ -fachen der Standardabweichung. Somit ergibt sich die Standardabweichung der Kanalnummer zu

$$s_k = \frac{\Delta x}{2\sqrt{2\ln(2)}} = \frac{x_2 - x_1}{2\sqrt{2\ln(2)}} \quad , \quad (3.1)$$

wobei sich die Halbwertsbreite Δx aus der Differenz der beiden Kanalnummern x_1 und x_2 bei halber Intensität des Peaks berechnen lässt.

3.1.2 Cäsium-137

Das im Versuch aufgenommene Pulshöhenspektrum des Cs-137-Präparats ist in Abbildung 3.2 dargestellt.

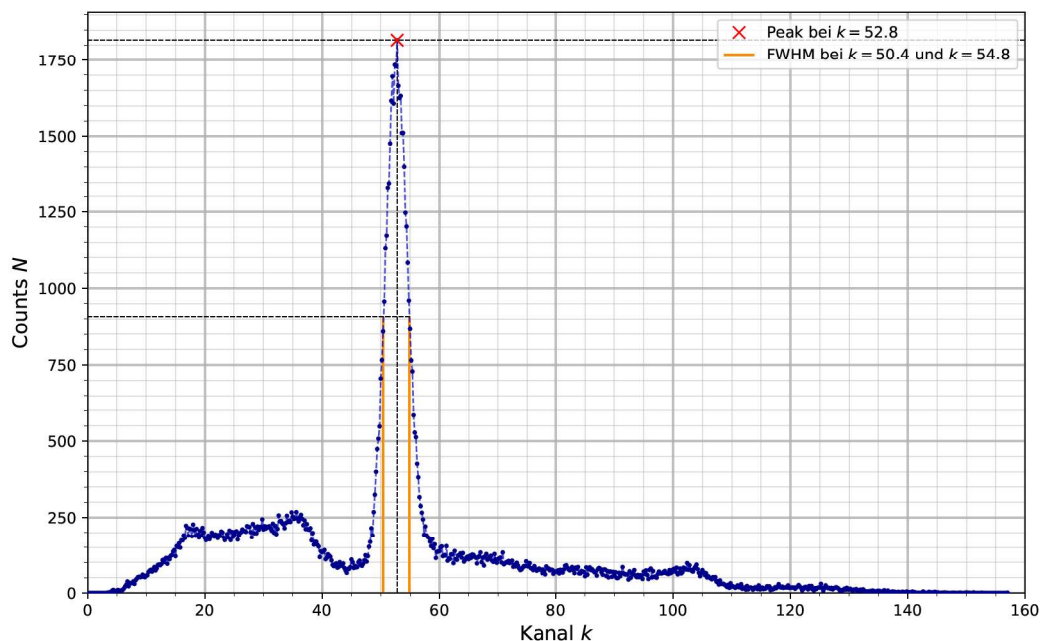


Abb. 3.2: Mit einem Gammaspektrometer aufgenommenes Pulshöhenspektrum der Gammastrahlung beim Zerfall des Cs-137-Präparats

Aus Abbildung 3.2 kann nun ebenfalls der bekannte Übergang mit der zugehörigen Kanalnummer identifiziert werden.

Der bekannte Übergang von Cs-137 liegt dabei bei $E_1 = 662$ keV. Für diesen bekannten Peak lässt sich aus dem Spektrum die Kanalnummer in Tabelle 3.2 ablesen.

Peak	Energie E in keV	Kanalnummer k	s_k	x_1	x_2
1	662	52,8	1,8	50,4	54,8

Tab. 3.2: Zuordnung von Kanalnummer k und Energie E für den Peak des Cs-137-Spektrums

Die Unsicherheit auf die Kanalnummer des Peaks berechnet sich dabei wieder aus der Halbwertsbreite mit Formel (3.1).

3.1.3 Cobalt-60

Das im Versuch aufgenommene Pulshöhenspektrum des Co-60-Präparats ist in Abbildung 3.3 dargestellt.

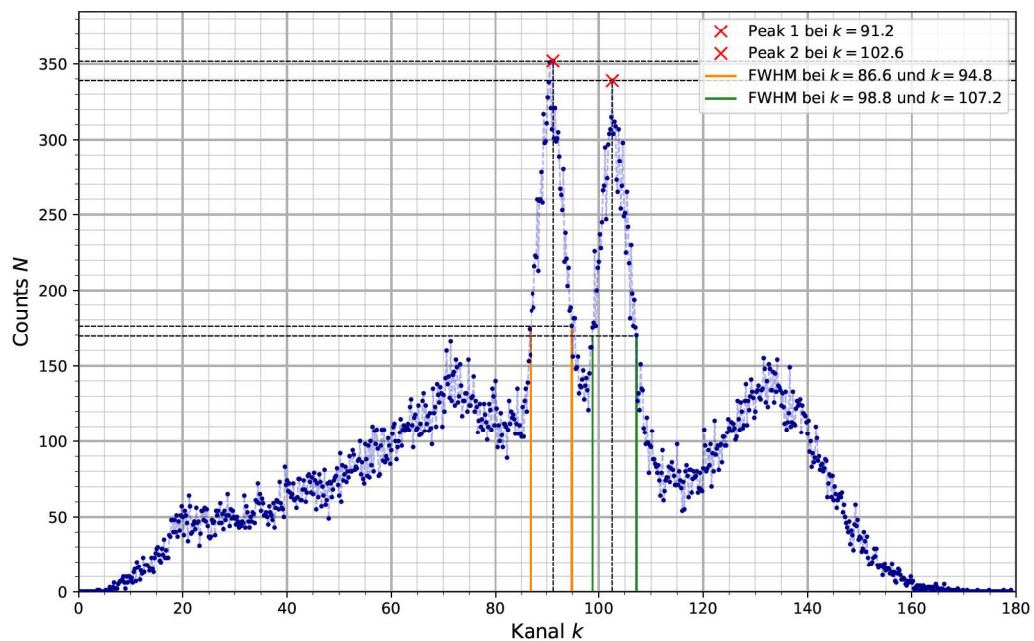


Abb. 3.3: Mit einem Gammaspektrometer aufgenommenes Pulshöhenspektrum der Gammastrahlung beim Zerfall des Co-60-Präparats

Aus dem Abbildung 3.3 können auch hier wieder die bekannten Übergänge mit den zugehörigen Kanalnummern identifiziert werden.

Die bekannten Übergänge von Co-60 liegen dabei bei $E_1 = 1172$ keV und $E_2 = 1333$ keV. Für diese Peaks lassen sich aus dem Spektrum auch wieder die Kanalnummern, die in Tabelle 3.3 aufgelistet sind, ablesen.

Außerdem ist auch hier ein weiterer, nicht mit den Übergängen von Co-60 identifizierbarer Peak erkennbar. Dieser wird ebenfalls in Abschnitt 3.3 genauer betrachtet.

Peak	Energie E in keV	Kanalnummer k	s_k	x_1	x_2
1	1172	91,2	3,4	86,6	94,8
2	1333	106,2	3,6	98,8	107,2

Tab. 3.3: Zuordnung von Kanalnummer k und Energie E für die Peaks des Co-60-Spektrums

Die Unsicherheit auf die Kanalnummer des Peaks berechnet sich dabei wieder aus der Halbwertsbreite mit Formel (3.1).

3.1.4 Faktor des Gammaspektrometers

Da ein linearer Zusammenhang zwischen den Kanalnummern und den Energien der Übergänge besteht, kann nun der zugehörige Umrechnungsfaktor bestimmt werden. Dazu wird die oben bestimmte Kanalnummer eines Übergangs gegen dessen bekannte Energie aufgetragen. In Abbildung 3.4 sind für die drei Kalibrierungsquellen diese Werte für die bekannten Peaks aufgetragen. Die Fehlerbalken der Kanalnummern k ergeben sich aus den zuvor berechneten Unsicherheiten dieser Kanalnummern.

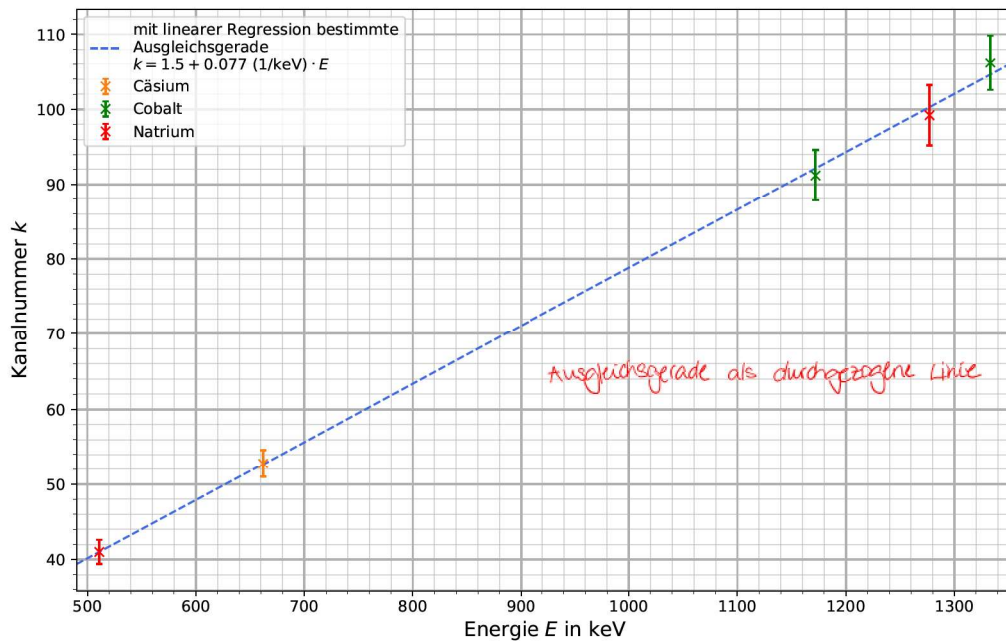


Abb. 3.4: Die Kanalnummern k der bekannten Peaks der Kalibrierungsquellen, aufgetragen gegen die bekannten Energien E dieser Übergänge, und die mit linearer Regression bestimmte Ausgleichsgerade

Die Ausgleichsgerade $k = a + b \cdot E$ ist dabei aufgrund der unterschiedlich großen Fehler in k mit gewichteter Linearer Regression bestimmt. Die Gewichtungsfaktoren sind dabei definiert als $w_i = 1/(s_{k_i})^2$, damit sind die Parameter

$$a = \frac{\sum_{i=1}^5 w_i E_i^2 \sum_{i=1}^5 w_i k_i - \sum_{i=1}^5 w_i E_i \sum_{i=1}^5 w_i E_i k_i}{\sum_{i=1}^5 w_i \sum_{i=1}^5 w_i E_i^2 - \left(\sum_{i=1}^5 w_i E_i \right)^2} = 1,5 \pm 2,8 \quad (3.2)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^5 w_i \sum_{i=1}^5 w_i E_i k_i - \sum_{i=1}^5 w_i E_i \sum_{i=1}^5 w_i k_i}{\sum_{i=1}^5 w_i \sum_{i=1}^5 w_i E_i^2 - \left(\sum_{i=1}^5 w_i E_i \right)^2} = (0,077 \pm 0,003) \frac{1}{\text{keV}} \quad (3.3)$$

wobei sich die Unsicherheiten mit

$$s_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 w_i E_i^2}{\sum_{i=1}^5 w_i \sum_{i=1}^5 w_i E_i^2 - \left(\sum_{i=1}^5 w_i E_i\right)^2}} = 2,8 \quad (3.4)$$

$$s_b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 w_i}{\sum_{i=1}^5 w_i \sum_{i=1}^5 w_i E_i^2 - \left(\sum_{i=1}^5 w_i E_i\right)^2}} = 0,003 \frac{1}{\text{keV}} \quad (3.5)$$

berechnen.

Der unbekannte Faktor entspricht also der Steigung b der Ausgleichsgeraden. Im Allgemeinen gilt somit für das verwendete Gammaskpektrometer

$$dk = b \cdot dE = (0,077 \pm 0,003) \frac{1}{\text{keV}} \cdot dE \quad \text{+ a} \quad (3.6)$$

3.1.5 Energieauflösung des Gammaskpektrometers

Nun kann die Energieauflösung dE/E des Spektrometers aus der Halbwertsbreite dE des Photopeaks von Cs-137 berechnet werden. Der Peak von Cs-137 liegt bei $E = 662 \text{ keV}$, was der Kanalnummer $k = 52,8$ entspricht. Die Halbwertsbreite des Peaks in Kanalnummern entspricht $dk = 4,4 = b \cdot dE$. Daraus lässt sich die Halbwertsbreite der Energie zu

$$dE = \frac{dk}{b} = 57 \text{ keV} \quad (3.7)$$

berechnen. Die Unsicherheit auf diese Halbwertsbreite dE berechnet sich aus der Gaußschen Fehlerfortpflanzung, unter der Annahme, dass die Energie der Gammastrahlung beim Übergang ein exakter Wert ist, zu

$$s_{dE} = \frac{dk}{b^2} \cdot s_b = 2 \text{ keV} \quad (3.8)$$

Die Energieauflösung des Gammaskpektrometers ist also

$$\frac{dE}{E} = (0,086 \pm 0,003) \text{ keV}, \quad \frac{\text{keV}}{\text{keV}} \rightarrow \text{keine Einheit} \quad (8,6 \pm 0,3)\% \quad (3.9)$$

wobei sich die Unsicherheit aus der Gaußschen Fehlerfortpflanzung

$$s_{dE/E} = \frac{1}{E} s_{dE} \quad (3.10)$$

ergibt.

3.2 Identifikation von radioaktiven Nukliden in der unbekannten Probe

Im zweiten Versuchsteil wurde das Spektrum eines Schweißstabs, der Thorium enthält, über eine Zeit von $\Delta t_{\text{Stab}} = 3008,0 \text{ s}$ gemessen. Dieses Spektrum ist in Abbildung 5.1 im Anhang dargestellt. Zur Identifikation von radioaktiven Nukliden in der Probe werden die Peaks des aufgenommenen Spektrums untersucht.

Allerdings sind in diesem Spektrum noch Einflüsse der Untergrundstrahlung enthalten. Deren Spektrum wurde ebenfalls im Versuch über eine Zeit von $\Delta t_{\text{Untergrund}} = 3612,5 \text{ s}$ gemessen und ist in Abbildung 5.2 im Anhang dargestellt.

Direkt vergleichen kann man diese beiden Spektren nicht, da sie über unterschiedlich lange Zeiten gemessen wurden. Man kann jedoch jeweils für jede Kanalnummer k die Zählrate

$$\dot{N}(k) = \frac{N(k)}{\Delta t} \quad (3.11)$$

bestimmen – so erhält man jeweils ein von der Messzeit unabhängiges Spektrum und kann die beiden Spektren direkt vergleichen. In Abbildung 3.5 ist diese Zählrate für beide Messungen gegen die Kanalnummer aufgetragen.

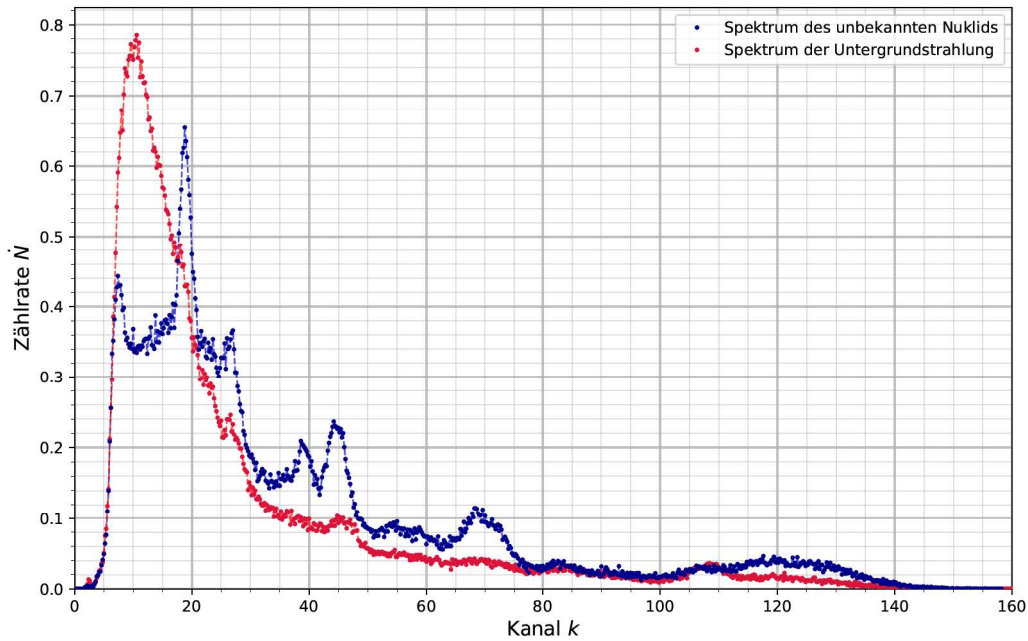


Abb. 3.5: Mit einem Gammaspektrometer bestimmtes Zählratenspektrum der Untergrundstrahlung und der Strahlung der unbekannten Probe

Man kann erkennen, dass die Zählrate der Untergrundstrahlung bei kleinen Kanalnummern sehr viel größer ist als die Zählrate der Probe, und damit in diesem Bereich auch einen sehr großen Einfluss auf das aufgenommene Spektrum der Probe hat.

Zur Identifikation der Peaks der unbekannten Probe werden nun deshalb die Zählraten der Untergrundstrahlung von den Zählraten der unbekannten Proben abgezogen. In Abbildung 3.6 sind die resultierenden Zählraten gegen die Kanalnummern aufgetragen.

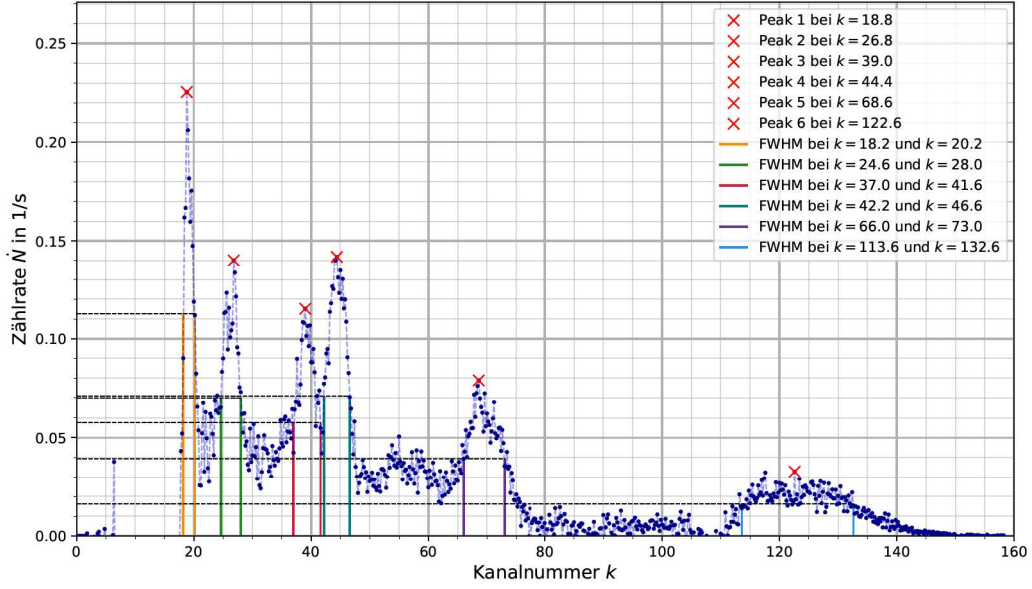


Abb. 3.6: Zählratenspektrum der Differenz der Zählraten der unbekannten Probe und der Untergrundstrahlung für die verschiedenen Kanalnummern k

Aus den Kanalnummern k , bei denen die Peaks liegen, können mithilfe der Ausgleichsgerade des Gammaspektrometers in Abschnitt 3.1.4 die zugehörigen Energien der Übergänge berechnet werden. Dazu kann die Gleichung der Ausgleichsgeraden umgeformt werden:

$$k = a + b \cdot E \quad (3.12)$$

$$\Leftrightarrow E = \frac{k - a}{b} \quad (3.13)$$

mit $a = (1,5 \pm 2,8)$ und $b = (0,077 \pm 0,003) \text{ 1/keV}$.

Die Unsicherheit der so bestimmten Energie der Gammastrahlung berechnet sich mit der Gaußschen Fehlerfortpflanzung zu

$$s_E = \sqrt{\left(\frac{dE}{dk} s_k\right)^2 + \left(\frac{dE}{da} s_a\right)^2 + \left(\frac{dE}{db} s_b\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{s_k}{b}\right)^2 + \left(-\frac{s_a}{b}\right)^2 + \left(-\frac{k - a}{b^2} s_b\right)^2} \quad (3.14)$$

Die mit Abbildung 3.6 bestimmten Kanalnummern der Peaks und die daraus berechneten Energien sind mit Unsicherheiten in Tabelle 3.4 aufgelistet.

Peak	k	s_k	x_1	x_2	E in MeV	s_E in MeV
1	18,8	0,8	18,2	20,2	0,22	0,04
2	26,8	1,4	24,6	28,0	0,33	0,04
3	39,0	2,0	37,0	41,6	0,49	0,05
4	44,4	1,8	42,2	46,6	0,56	0,05
5	69,0	3,0	66,0	73,0	0,88	0,06
6	122,6	8,0	113,6	132,6	1,57	0,13

Tab. 3.4: Berechnete Energie mit Unsicherheit für die jeweilige Kanalnummer des Peaks der unbekannten Probe

3.3 Identifikation von radioaktiven Nukliden in den Kalibrierungsquellen

Sowohl in der Na-22-Quelle als auch in der Co-60-Quelle lässt sich ein weiteres radioaktives Nuklid vermuten, da in beiden Messungen ein weiterer, nicht zu den Übergängen der Quellen passender Peak auftaucht. In der Untergrundmessung ist dieser Peak jedoch nicht vorhanden, wie man nochmal deutlicher an der logarithmischen Darstellung des Spektrums der Untergrundmessung in Abbildung 5.3 sieht.

Die Kanalnummern k dieser Peaks sind aus Abbildung 3.1 und Abbildung 3.3 bestimmt. Die Unsicherheit s_k berechnet sich dabei analog zu den anderen Peaks aus der Halbwertsbreite mit Formel (3.1). Aus der Kanalnummer k dieser Peaks lässt sich anschließend, analog wie zuvor bei der unbekannten Probe, mit Formel (3.13) die Energie der Gammastrahlung dieser Übergänge berechnen. Die Unsicherheit kann dabei analog mit Formel (3.14) aus der Gaußschen Fehlerfortpflanzung berechnet werden.

Die so bestimmten und berechneten Größen sind in Tabelle 3.5 aufgelistet.

Probe	k	s_k	x_1	x_2	E in MeV	s_E in MeV
Na-22	126,8	8	115,2	135,0	1,63	0,13
Co-60	132,6	10	120,0	144,0	1,70	0,15

Tab. 3.5: Aus den Abbildungen bestimmte Kanalnummern der unbekannten Peaks der Na-22- und Co-60-Messung und die daraus bestimmten Energien

4 Zusammenfassung und Diskussion

4.1 Kalibrierung des Gammasktometers

Aus den Messungen mit den Kalibrierungsquellen Na-22, Cs-137 und Co-60, deren Gammasktoren bekannt sind, hat sich der lineare Zusammenhang

$$k = (1,5 \pm 2,8) + (0,077 \pm 0,003) \frac{1}{\text{keV}} \cdot E \quad (4.1)$$

zwischen den Kanalnummern k des Gammasktometers und den Energien der zugehörigen Übergänge feststellen lassen. Die gemessenen Peaks haben sich im Rahmen der Messgenauigkeit gut den bekannten Energien der Übergänge zuordnen lassen und bei der Auftragung von k gegen E ist ein eindeutiger linearer Zusammenhang erkennbar.

Zusätzlich zu den bekannten Übergängen von Na-22 und von Co-60 ist in beiden Messungen ein weiterer, nicht zu den Übergängen passender Peak zu erkennen. Die Energien dieser Peaks haben sich aus deren Kanalnummern mit Formel (4.1) berechnen lassen.

Nun können diese Energien mit den bekannten Energien von Gammastrahlung beim Zerfall bekannter Nuklide verglichen werden, um herauszufinden, welche zusätzlichen radioaktiven Nuklide sich möglicherweise in den Na-22- und Co-60-Proben befunden haben. Grund für die Annahme, dass sich ein weiteres Nuklid in der jeweiligen Probe befindet, ist die Tatsache, dass beide unbekannten Peaks nicht in der Untergrundmessung zu finden sind. Die zugehörige Gammastrahlung muss somit aus den Proben selbst kommen.

Vergleicht man die Energien der beiden Peaks miteinander, so ergibt sich eine Abweichung in Einheiten der kombinierten Standardunsicherheit von

$$t = \frac{|E_{\text{Na-22}} - E_{\text{Co-60}}|}{\sqrt{s_{E_{\text{Na-22}}}^2 + s_{E_{\text{Co-60}}}^2}} = 0,35.$$

Die Energien der beiden Peaks sind somit auf einem Signifikanzniveau von 5 % verträglich. Dies lässt vermuten, dass, falls die Peaks aufgrund einer Verunreinigung der Proben entstanden sind, beide Proben mit dem selben Nuklid verunreinigt gewesen sind.

Vergleicht man die Energien der Peaks mit den Energien in Tabelle 5.1 so lässt sich das natürlich vorkommende Nuklid Kalium-40 mit $E_{\text{K-40}} = 1,461 \text{ MeV}$ vermuten. Die Abweichung der Energien der unbekannten Peaks der Proben und der Energie der Gammastrahlung beim Zerfall von K-40 lässt sich in Einheiten der kombinierten Standardunsicherheit zu

$$t = \frac{|E_{\text{Na-22-Probe}} - E_{\text{K-40}}|}{s_E} = 1,3$$
$$t = \frac{|E_{\text{Co-60-Probe}} - E_{\text{K-40}}|}{s_E} = 1,6$$

berechnen. Beide Peak-Energien sind somit auf einem Signifikanzniveau von 5 % mit der Energie des Nuklids K-40 verträglich. Es könnte tatsächlich möglich sein, dass beide Proben, sowohl die Na-22-Probe als auch die Co-60-Probe, mit K-40 verunreinigt ist.

Betrachtet man ~~Tabelle 5.1~~, so sind jedoch auch andere Nuklide möglich. Die Energien beim

Zerfall von Ac-228 ($E = 1,588$ MeV), von Bi-214 ($E = 1,729$ MeV, $E = 1,764$ MeV oder $E = 1,847$ MeV) und von Pa-234m ($E = 1,737$ MeV, $E = 1,831$ MeV, $E = 1,867$ MeV oder $E = 1,874$ MeV) sind ebenfalls auf einem Signifikanzniveau von 5 % mit den unbekannten Peak-Energien verträglich. Da diese Nuklide jedoch seltener oder künstlich sind, wird davon ausgegangen, dass das Kalium-40 am wahrscheinlichsten für die Verunreinigung verantwortlich ist.

Es könnte außerdem möglich sein, dass es sich beim dritten Peak der Na-22-Probe um den dritten Peak des bekannten Spektrums handelt. Dieser liegt bei $E = 1,788$ keV und ergibt sich aus der Überlagerung der beiden anderen Peaks. Vergleicht man den dritten gemessenen Peak mit dem dritten bekannten Peak, ergibt sich in Einheiten der kombinierten Standardunsicherheit ja! eine Abweichung von

$$t = \frac{|E_{\text{Na-22,gemessen}} - E_{\text{Na-22,lit}}|}{s E_{\text{Na-22,gemessen}}} = 1,2 .$$

Die Energien sind somit auf einem Signifikanzniveau von 5 % verträglich und es ist auch möglich, dass der gemessene Peak mit diesem Peak von Na-22 identifiziert werden kann. Dies erklärt jedoch nicht, woher der dritte Peak der Co-60-Messung herrührt. Da außerdem nur über fünf Minuten gemessen wurde und der dritte bekannte Na-22-Peak, auch wenn er innerhalb der zweifachen Standardunsicherheit des gemessenen Peaks liegt, dennoch deutlich weiter rechts liegen müsste, ist eine Verunreinigung wahrscheinlicher.

4.2 Energieauflösung des Gammaspektrometers

Aus der Halbwertsbreite des Photopeaks von Cs-137 lässt sich die Energieauflösung des Spektrometers zu

$$\frac{dE}{E} = (0,086 \pm 0,003) \text{ keV}$$

bestimmen. Man kann somit erkennen, dass die Auflösung des verwendeten Gammaspektrometers etwas schlechter ist als die eines NaI-Detektors, welche bestenfalls eine Auflösung von 5 % erreicht. [3]

4.3 Identifikation von radioaktiven Nukliden

Es konnten 6 Peaks bei der Messung der unbekannten Probe identifiziert werden. Die bestimmten Energien dieser Übergänge können nun mit den Energien der Gammastrahlungen beim Zerfall bekannter Nuklide, welche aus Tabelle 5.1 im Anhang gegeben sind, verglichen werden. Die bestimmten Energien sind diesen Energien in Tabelle 4.1 gegenübergestellt.

Peak	bestimmte E in MeV	Nuklid	E_{Nuklid} in MeV	t
1	$(0,22 \pm 0,04)$	Pb-212	0,238	0,45
2	$(0,33 \pm 0,04)$	Ac-228	0,338	0,20
3	$(0,49 \pm 0,05)$	Tl-208	0,510	0,40
4	$(0,56 \pm 0,05)$	Tl-208	0,583	0,46
5	$(0,88 \pm 0,06)$	Tl-208	0,860	0,33
6	$(1,57 \pm 0,13)$	Ac-228	1,588	0,14

Tab. 4.1: Vergleich der Energien der Gammastrahlung der unbekannten Probe mit den Energien beim Übergang bekannter radioaktiver Nuklide

Für einen besseren Vergleich der beiden Energien wird die Abweichung t in Einheiten der kombinierten Standardunsicherheit

$$t = \frac{|E - E_{\text{Nuklid}}|}{s_E} \quad (4.2)$$

berechnet. Auch diese berechneten Abweichungen sind in Tabelle 4.1 dargestellt.

Man kann erkennen, dass alle bestimmten Energien E mit den jeweils aus Tabelle 5.1 ausgewählten Energien E_{Nuklid} auf einem Signifikanzniveau von 5 % verträglich sind. Aus diesem Grund kann aus der Messung geschlossen werden, dass in der Probe die Nuklide Pb-212, Ac-228 und Tl-208 vorhanden sind.

Alle drei identifizierten Nuklide sind Teil der Thorium-232-Zerfallsreihe, was auch zur verwendeten Probe, einem thoriumhaltigen Schweißstab, passt.

Der zweite Peak der unbekannten Probe könnte außerdem auch mit dem Nuklid Pb-214 und einer Energie der Gammastrahlung beim Zerfall von $E = 0,351 \text{ MeV}$ identifiziert werden. Dabei liegt die Abweichung nach Formel (4.2) bei $t = 0,53$. Da diese Abweichung jedoch größer ist als die Abweichung zur Energie $E = 0,338$ von Ac-228, das Nuklid Pb-214 Teil der Uran-238-Zerfallsreihe und nicht der Thorium-232-Zerfallsreihe ist, und das Nuklid Ac-228 außerdem bereits bei einem anderen Übergang ebenfalls identifiziert ist, gehört der vermutlich Peak zu Ac-228. ✓

4.4 Fazit und mögliche Verbesserungen der Messmethoden

Wie in der Diskussion deutlich wird, ist die Unsicherheit der Peaks aus dem Spektrum des Gamaspektrometers aufgrund der Halbwertsbreiten sehr groß. Aus diesem Grund können manche Energien nicht eindeutig einem Nuklid aus Tabelle 5.1 zugeordnet werden.

Eine genauere Messung mit schmalere Peaks würde die Zuordnung vereinfachen und präzisieren. Nach Abschnitt 4.2 wäre beispielsweise die Energieauflösung des Spektrums mit einem NaI-Detektor nochmals etwas besser. *Ihr habt einen NaI-Szintillator verwendet*

Auch eine verlängerte Messzeit könnte das Spektrum und damit die Messung verbessern.

Nichtsdestotrotz können in der unbekannten Probe radioaktive Nuklide der Thorium-232-Zerfallsreihe identifiziert werden. Dies stimmt mit den Angaben zur Probe überein, da es sich bei der Probe um einen Schweißstab, der Thorium enthält, handelt.

Dies zeigt auch, dass die Ausgleichsgerade zwischen den Kanalnummern k und Energien E , welche zur Identifikation der Peaks durch die Umrechnung von k in E maßgeblich beigetragen hat, sehr gut bestimmt worden ist. Bereits das Diagramm, in welchem k gegen E aufgetragen ist, zeigt die gute Genauigkeit der Messung, da der lineare Zusammenhang eindeutig erkennbar und verifizierbar ist.

Die zusätzlichen Peaks in den Kalibrierungsmessungen sind jedoch verwunderlich. Es kann vermutet werden, dass die Proben von Na-22 und Co-60 mit K-40 verunreinigt sind. Zur Verbesserung der Messung könnten daher Proben benutzt werden, welche nicht verunreinigt sind.

Literaturverzeichnis

- [1] Versuchsaufbau: *Versuchsanleitungen Physik-Labor für Anfänger*innen, Teil II (Stand: 02/2021) (Versuch 90: Gammaskopie)*, S. 121
- [2] Zerfallsschemata und Energien der dabei ausgesendeten γ -Quanten für Na-22, Cs-137 und Co-60: *Versuchsanleitungen Physik-Labor für Anfänger*innen, Teil II (Stand: 02/2021) (Versuch 90: Gammaskopie)*, S. 119
- [3] Auflösung eines NaI-Detektors: *Versuchsanleitungen Physik-Labor für Anfänger*innen, Teil II (Stand: 02/2021) (Versuch 90: Gammaskopie)*, S. 122
- [4] Gammaskopie von Na-22: <https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-fortfuehrung/versuche/weitere-gammaskopien>, aufgerufen am 20.03.2021

Abbildungsverzeichnis

Farbe

2.1	Gammapektrometer: Szintillationsdetektor und Mehrkanalanalysator [1]	4
3.1	Mit einem Gammapektrometer aufgenommenes Pulshöhenspektrum der Gammastrahlung beim Zerfall des Na-22-Präparats	6
3.2	Mit einem Gammapektrometer aufgenommenes Pulshöhenspektrum der Gammastrahlung beim Zerfall des Cs-137-Präparats	7
3.3	Mit einem Gammapektrometer aufgenommenes Pulshöhenspektrum der Gammastrahlung beim Zerfall des Co-60-Präparats	8
3.4	Die Kanalnummern k der bekannten Peaks der Kalibrierungsquellen, aufgetragen gegen die bekannten Energien E dieser Übergänge, und die mit linearer Regression bestimmte Ausgleichsgerade	9
3.5	Mit einem Gammapektrometer bestimmtes Zählratenspektrum der Untergrundstrahlung und der Strahlung der unbekannten Probe	11
3.6	Zählratenspektrum der Differenz der Zählraten der unbekannten Probe und der Untergrundstrahlung für die verschiedenen Kanalnummern k	12
5.1	Mit einem Gammapektrometer aufgenommenes Pulshöhenspektrum der Gammastrahlung einer unbekannten Probe (thoriumhaltiger Schweißstab)	21
5.2	Mit einem Gammapektrometer aufgenommenes Pulshöhenspektrum der Untergrundstrahlung	21
5.3	Mit einem Gammapektrometer aufgenommenes Pulshöhenspektrum der Untergrundstrahlung (logarithmische y-Achse)	22
5.4	Laborheft Seite 1	23

Tabellenverzeichnis

Farbe

3.1	Zuordnung von Kanalnummer k und Energie E für die Peaks des Na-22-Spektrums	7
3.2	Zuordnung von Kanalnummer k und Energie E für den Peak des Cs-137-Spektrums	8
3.3	Zuordnung von Kanalnummer k und Energie E für die Peaks des Co-60-Spektrums	8
3.4	Berechnete Energie mit Unsicherheit für die jeweilige Kanalnummer des Peaks der unbekannten Probe	12
3.5	Aus den Abbildungen bestimmte Kanalnummern der unbekannten Peaks der Na-22- und Co-60-Messung und die daraus bestimmten Energien	13
4.1	Vergleich der Energien der Gammastrahlung der unbekannten Probe mit den Energien beim Übergang bekannter radioaktiver Nuklide	15
5.1	Energien der Gammastrahlungen beim Übergang der verschiedenen radioaktiven Nuklide	20

Verzeichnisse: Beschreibungen maximal über eine Zeile: $\text{Kapitel [kurzteil]} \{ \text{langteil} \}$

5 Anhang

Versuch 90 Gammaspektroskopie

Energie/keV	Nuklid	
112	U-236	
120	U-234	
186	Pb-214	
238	Pb-212	+
241	Pb-214	
295	Pb-214	
338	Ac-228	
351	Pb-214	+
510	Tl-208	+
583	Tl-208	+
609	Bi-214	+
727	Bi-212	
768	Bi-214	
794	Ac-228	
860	Tl-208	
911	Ac-228	+
934	Bi-214	
964	Ac-228	+
968	Ac-228	+
1001	Pa-234m	
1120	Bi-214	+
1238	Bi-214	
1377	Bi-214	
1407	Bi-214	
1461	K-40	+
1588	Ac-228	
1729	Bi-214	
1737	Pa-234m	
1764	Bi-214	+
1831	Pa-234m	
1847	Bi-214	
1867	Pa-234m	
1874	Pa-234m	
1911	Pa-234m	
1937	Pa-234m	
2118	Bi-214	
2204	Bi-214	
2293	Bi-214	
2447	Bi-214	
2614	Tl-208	
3053	Bi-214	

Tab. 5.1: Energien der Gammastrahlungen beim Übergang der verschiedenen radioaktiven Nuklide

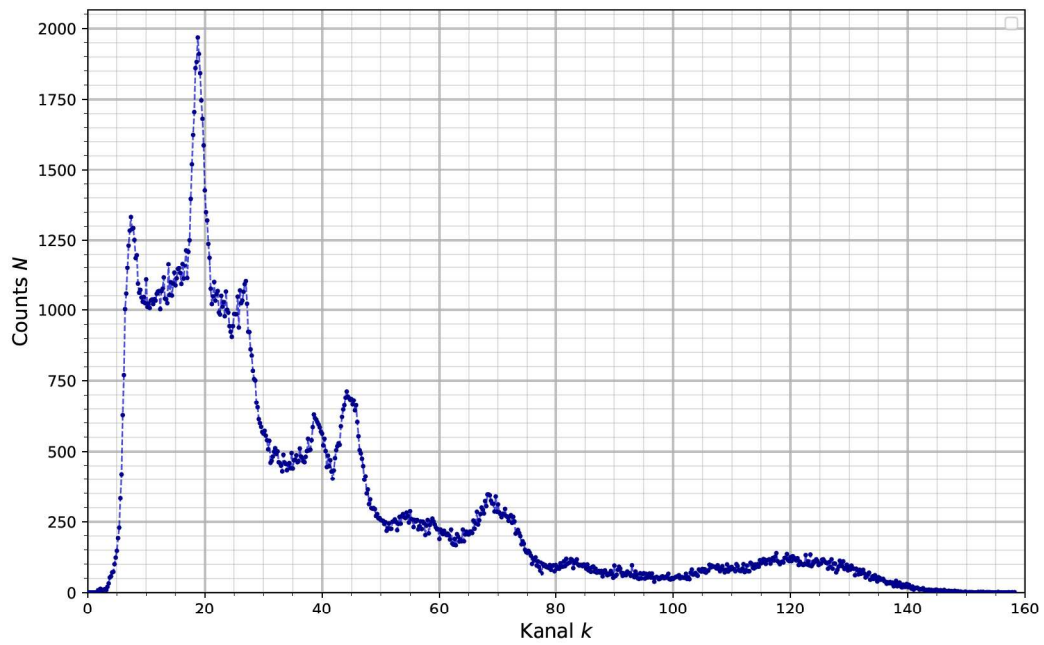


Abb. 5.1: Mit einem Gammaspektrometer aufgenommenes Pulshöhenspektrum der Gammastrahlung einer unbekannten Probe (thoriumhaltiger Schweißstab)

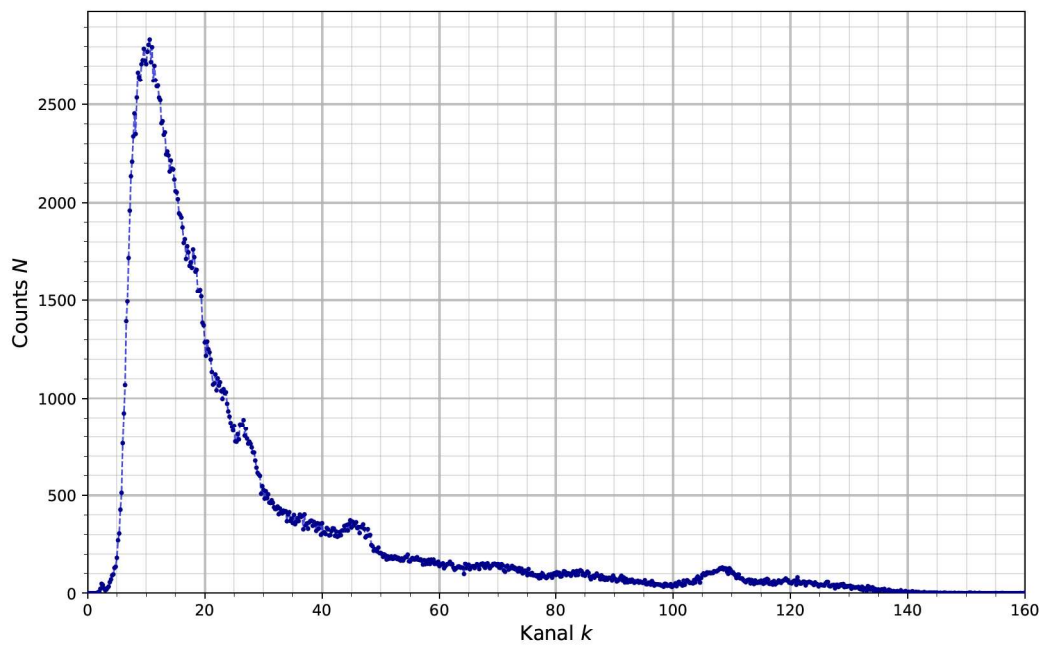


Abb. 5.2: Mit einem Gammaspektrometer aufgenommenes Pulshöhenspektrum der Untergrundstrahlung

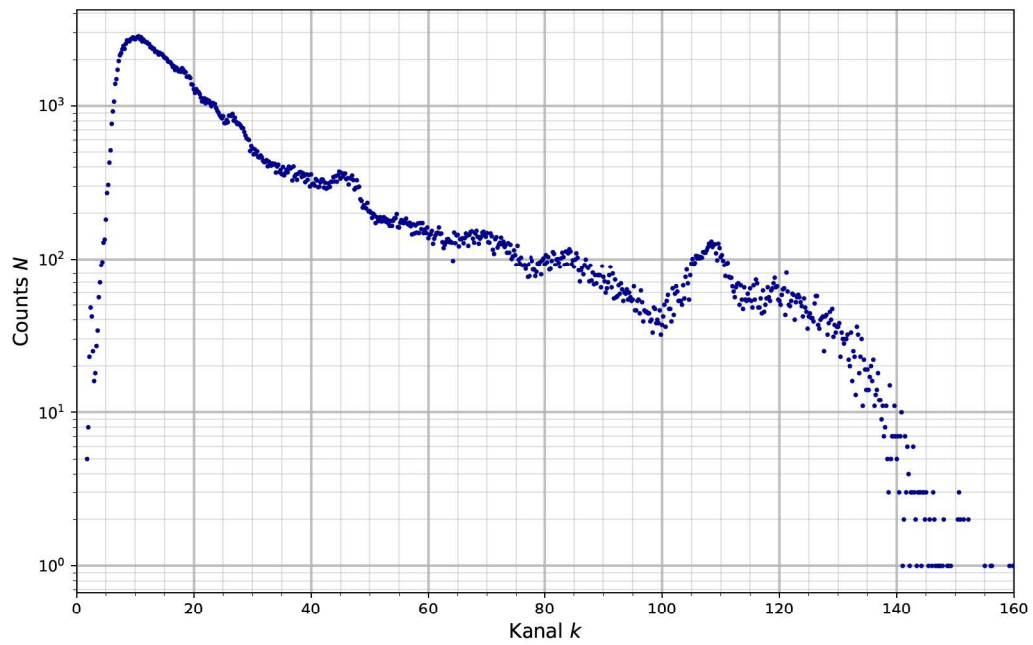


Abb. 5.3: Mit einem Gammaspektrometer aufgenommenes Pulshöhenspektrum der Untergrundstrahlung (logarithmische y-Achse)

Versuch 90: Gammaspektroskopie

19.03.21

Untergrundmessung: $\Delta t = 3612,5 \pm 0,05 \text{ s}$

unbekannte Probe: $\Delta t = 30080 \pm 0,05 \text{ s}$



Abb. 5.4: Laborheft Seite 1