

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	2
2	Theorie	2
2.1	γ -Strahlung	2
2.2	Szintillationszähler	2
2.3	Verwendete Radionukleide	4
2.3.1	Natrium	4
2.3.2	Cobalt	4
2.3.3	Europium	5
2.3.4	Thorium	5
2.4	Elektronik	5
2.4.1	Multi Channel Analyzeer (MCA)	5
2.4.2	Single Channel Analyzer (SCA)	6
2.4.3	Koinzidenzeinheit	6
3	Versuchsaufbau	7
3.1	Energiespektrum Thorium	7
3.2	Winkelkorrelation	7
4	Versuchsdurchführung	9
4.1	Signaluntersuchung und Geräteeinstellung	9
4.2	Energiespektrum von Thorium	12
4.3	Winkelkorrelation	12
5	Auswertung	13
5.1	Energiespektrum Thorium	13
5.1.1	Untergrundmessung	13
5.2	Cobalt-Spektrum	14
5.3	Natrium-Spektrum	14
5.4	Europium-Spektrum	15
5.5	Energieeichung	17
5.6	Thorium-Spektrum	19
5.7	Winkelkorrelation	22
6	Diskussion	23

Abbildungsverzeichnis

1	Aufbau eines Photomultipliers	3
2	Energieniveaus eines anorganischen Szintillators	4
3	Zerfallsschema von Natrium	4
4	Zerfallsschema von Cobalt	5

5	vereinfachtes Zerfallsschema von Europium	5
6	Versuchsaufbau zur Aufnahme der verschiedenen Energiespek- tren	7
7	Einstellen des SCA	8
8	Versuchsaufbau zur Winkelkorrelation	8
9	Signal am Ausgang des Photomultipliers	9
10	Unipolarer Ausgang des Hauptverstärkers	10
11	Bipolarer Ausgang des Hauptverstärkers	10
12	Signal des SCA mit bipolarem Eingangssignal	11
13	Untergrundzählrate	13
14	Cobalt-Spektrum bereinigt	14
15	Cobalt-Peaks	15
16	Natrium-Spektrum	15
17	Gauß-Fits der Natrium-Peaks	16
18	Bereinigtes Europium-Spektrum	16
19	Europium-Peaks	17
20	Lineare Regression zur Energieeichung	18
21	Aufnahme des Thorium-Spektrums, vom Untergrund befreit .	19
22	Erkennbare Thorium-Peaks	20
23	Thorium-Peaks im unteren Energiebereich	20
24	Thorium-Peaks im oberen Energiebereich	21
25	Ergebnisse der Winkelkorrelation und der Gauß-Fit	22

1 Abstract

2 Theorie

2.1 γ -Strahlung

γ -Strahlung entsteht beim Zerfall angeregter Kernzustände in niederenergetische Zustände oder den Grundzustand. Die dabei freiwerdende Energie wird in Form eines γ -Quants ausgesendet. Eine weitere Möglichkeit der Energieabgabe ist die **innere Konversion**. Dabei wird die freigesetzte Energie nicht in Form eines γ -Quants ausgesendet sondern an eines der Schalenelektronen übertragen, das daraufhin genug Energie hat um die Bindungsenergie zu durchbrechen und das Atom mit kinetischer Energie zu verlassen. Der dadurch frei gewordene Platz wird durch Elektronen aus höheren Schalen wieder aufgefüllt, die die überschüssige Energie in Form von γ -Strahlung oder durch ein **Auger-Elektron** abgeben. Beim **Auger-Effekt** wird die Energie auch wieder auf eine Elektron abgegeben, das daraufhin das Atom verlässt. Die frei gewordene γ -Strahlung kann nun auf verschiedene Weise mit der umgebenden Materie wechselwirken.

- **Photoeffekt:**

Beim Photoeffekt schlägt das γ -Quant ein Elektron aus der Atomhülle heraus, in dem es ihm seine Energie überträgt. Dafür muss seine Energie mindestens der Bindungsenergie des Elektrons entsprechen, damit dieses das Atom verlassen kann. Dieser Effekt tritt hauptsächlich bei Energien bis zu 100keV auf.

- **Compton-Effekt:**

Hierbei wird das einfallende Photon an einem ruhenden Elektron gestreut und überträgt dabei einen Teil seiner Energie an das Elektron, das dadurch kinetische Energie erlangt. Der maximale Energieübertrag findet bei einem Winkel von 180° statt, der im Spektrum auch als Compton-Kante sichtbar ist. Dieser Effekt tritt vor allem bei Energien von 100keV bis hin zu mehreren MeV.

- **Paarbildung:** Ab einer Energie von 1,022MeV kann auch dieser Effekt auftreten. Dabei kommt es zur Bildung eines Positronium, also einem Elektron-Positron-Paares. Weil dieses alleine nur sehr kurz existieren kann, zerfällt es in zwei γ -Quanten mit einer jeweiligen Energie von 511keV. Wegen der Impulserhaltung werden sie außerdem in entgegengesetzter Richtung emittiert.

2.2 Szintillationszähler

Läuft elektromagnetische Strahlung durch einen Szintillator, so regt diese die Atome des Materials an, die anschließend durch Aussenden von γ -Strahlung

wieder in den Grundzustand übergehen. Diese Strahlung liegt im sichtbaren und ultravioletten Bereich und ist entsprechend gut messbar. Mit Hilfe des Szintillators können nun hochenergetische γ -Quanten in Strahlung niedrigerer Energie umgeformt werden, die dafür aber eine höhere Intensität aufweisen. Diese Quanten können anschließend mit Hilfe eines Photomultipliers verstärkt und dann ausgelesen werden. Hierbei spielt der Photoeffekt eine wichtige Rolle, siehe auch Abbildung 1.

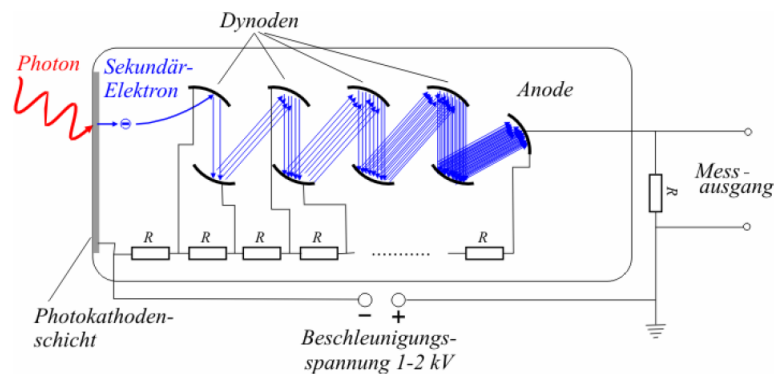


Abbildung 1: Aufbau eines Photomultipliers

Es gibt anorganische und organische Szintillatoren, in dem hier durchgeführten Versuch wird ein Plastikszintillator als organischer und ein Natriumiodid-Szintillator als anorganischer verwendet. Im NaI-Kristall entsteht die γ -Strahlung, wenn Elektronen aus dem Leitungsband zurück in das Valenzband fallen und damit ihre Anregungsenergie entlassen. Weil diese Energie von anderen Elektronen wieder aufgenommen werden kann und diese damit ins Leitungsband hebt, geht die emittierte Strahlung verloren, der Szintillator ist für sie undurchlässig. Deswegen wird das NaI dotiert, wodurch weitere Bänder zwischen Valenz- und Leitungsband entstehen. Die Elektronen aus dem Leitungsband können sich nun über diese Bänder entladen und senden dabei niederenergetischere γ -Quanten aus. Diese können den Szintillator nun verlassen und detektiert werden (siehe auch Abbildung ??).

Bei organischen Szintillatoren hat man zwar eine deutlich bessere Zeitauflösung durch eine geringere Abklingzeit, allerdings können diese die Energie der Strahlung nicht so gut auflösen. Grund dafür ist die fehlende Bandstruktur, wodurch An- und Abregung deutlich schneller ablaufen können. Die Dotierung erfolgt in diesem Fall durch Fremdatome an die die überschüssige Energie übertragen wird und die anschließend die messbaren Photonen aussenden.

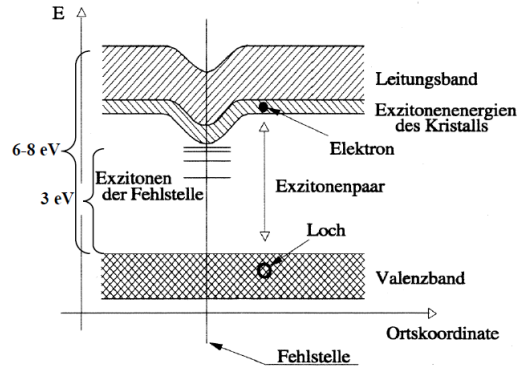
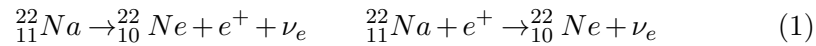


Abbildung 2: Energieniveaus eines anorganischen Szintillators

2.3 Verwendete Radionukleide

2.3.1 Natrium

Als erstes Nuklid wird ^{22}Na betrachtet, das durch den β^+ -Zerfall (90%) oder Elektroneneinfang (10%) in den angeregten Kernzustand von ^{22}Ne zerfällt. Es hat eine Halbwertszeit von 2,6088 Jahren.



Im Spektrum wird entsprechend ein Peak bei 1274,6keV und der Vernichtungspeak bei 511keV erwartet. Nat

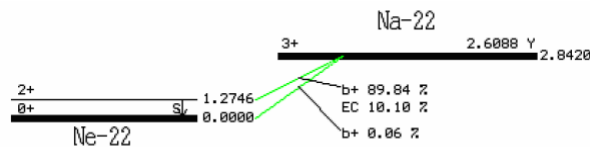


Abbildung 3: Zerfallsschema von Natrium

2.3.2 Cobalt

Außerdem wird ^{60}Co betrachtet, das durch β^- -Zerfall in einen angeregten Zustand von Nickel zerfällt.



Im Spektrum wird ein Peak bei 1332,5keV und einer bei 1173,2keV erwartet. Es hat eine Halbwertszeit von 5,2714 Jahren.

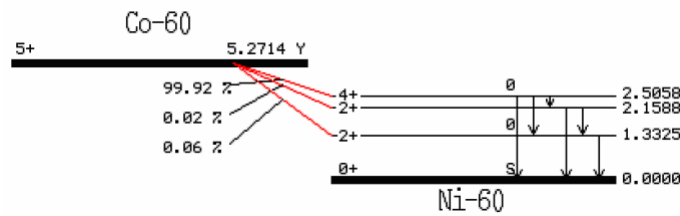
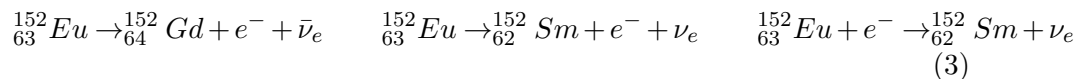


Abbildung 4: Zerfallsschema von Cobalt

2.3.3 Europium

Europium hat eine Halbwertszeit von 12 Jahren und zerfällt über die folgenden Arten:



Die stärksten Peaks erhält man bei 122keV und 344keV.

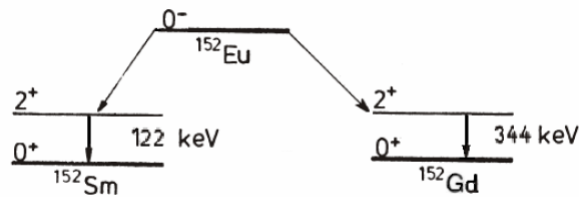


Abbildung 5: vereinfachtes Zerfallsschema von Europium

2.3.4 Thorium

In der Zerfallreihe von ${}^{232}\text{Th}$ zu ${}^{208}\text{Pb}$ kommt es zu allen möglichen Zerfallsarten und γ -Emissionen, für genauere Informationen siehe auch 1.

2.4 Elektronik

2.4.1 Multi Channel Analyzeer (MCA)

Der MCA verteilt die eintreffenden Impulse abhängig von ihrer Spannungshöhe auf verschiedene Kanäle. Dafür vergleicht er die einzelnen Impulse mit einer gleichzeitig einsetzenden Sägezahnspannung und vergleicht die Zeitdifferenz zwischen Anstieg des Pulses und dem Erreichen der Sägezahnhöhe. Weil die vom MCA verwendeten Kanäle lediglich durchnummeriert sind,

muss zu Beginn der Messungen noch eine Energiekalibration mit Hilfe von bekannten Spektren durchgeführt werden.

2.4.2 Single Channel Analyzer (SCA)

Der SCA ist ein Diskriminator mit dessen Hilfe nur Signale eines bestimmten Energiebereiches zur Auswertung weitergeleitet werden. Dieses Fenster ist durch das **upper lever** und das **lower level** festgelegt. Erreicht das SCA ein Signal mit der passenden Größe, so leitet es einen Rechteckpuls weiter. Zusätzlich ist es mit der **delay**-Einstellung möglich, das weitergeleitete Signal zu verzögern. Das ist in diesem Experiment wichtig, weil der organische und der anorganische Szintillator unterschiedliche An- und Abregezeiten besitzen. Damit zeitgleiche Signale dennoch als solche registriert werden können wird also das Signal des Plastik-Szintillators verzögert.

2.4.3 Koinzidenzeinheit

Mit Hilfe der Koinzidenzeinheit wird sichergestellt, dass zwei gleichzeitige Ereignisse auch als gleichzeitig interpretiert werden und einzelne Events nicht weitergeleitet werden. Das ist besonders für den zweiten Versuchsteil von Bedeutung. Erreichen zwei Signale die Koinzidenzeinheit, untersucht diese ob es einen zeitlichen Überlapp der beiden Signale gibt. Ist dies der Fall, gibt es entweder die Möglichkeit ein Ausgangsimpuls abzusenden, der proportional zu der Länge des Überlapps ist, oder einen normierten Puls. Weil in diesem Versuch nur die Anzahl der gleichzeitigen Ereignisse von Bedeutung ist, wird hier letztere Einstellung verwendet.

3 Versuchsaufbau

3.1 Energiespektrum Thorium

Der in diesem Versuchsteil verwendete anorganische Szintillator ist ein Natriumiodid-Szintillator, der mit Thallium dotiert wurde. In diesem Aufbau ist der Photomultiplier direkt im Szintillator integriert und wird nicht extra angeschlossen. Ebenso integriert ist ein Vorverstärker. Anschließend gelangt das Signal in den Hauptverstärker, an dem man mit der **shaping time** die gewünschte Verstärkung einstellen kann. Durch den unipolaren Ausgang gelangt das gaußförmige Signal zum MCA, der die einzelnen Signale entsprechend ihrer Impulsstärke in Kanäle einordnet und dies dann an den Computer weiterleitet, der zur Auswertung bereitsteht.

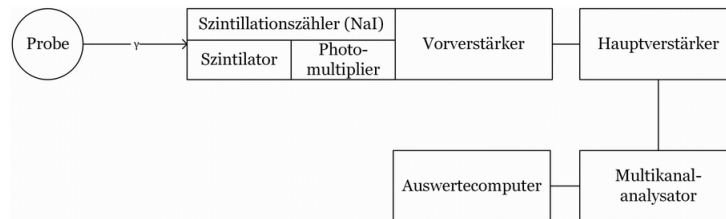


Abbildung 6: Versuchsaufbau zur Aufnahme der verschiedenen Energiespektren

3.2 Winkelkorrelation

In diesem Versuchsteil sollen nur die Energien von 511keV detektiert werden, also die Vernichtungsphotonen. Deswegen wird das Signal, das vom bipolaren Ausgang des Hauptverstärkers kommt über einen SCA geleitet, der dafür sorgt, dass nur die gewünschten Signale weitergeleitet werden. Diese werden dann an das **Gate** weitergegeben, an das auch der unipolare Ausgang des Hauptverstärkers angeschlossen ist. Dieses lässt das Signal des unipolaren Ausgangs nur durch, wenn es in einem einstellten Zeitintervall auch ein Signal vom SCA erhält.

Um nun die eigentliche Messung zur Winkelkorrelation durchzuführen, wird der Plastikszintillator hinzugezogen. Dieser ist drehbar um 180° . Der Anschluss des Plastikszintillators erfolgt analog zum NaI-Szintillator. Die angeschlossene **timing unit** gibt Rechteckssignale aus, die in der Koinzidenzeinheit auf ihre Gleichzeitigkeit überprüft werden. Nur bei einem gleichzeitigen Signal wird das Signal als Count weitergeleitet. Die Rechteckssignale sind auch an dem zwischengeschalteten Oszilloskop zu sehen.

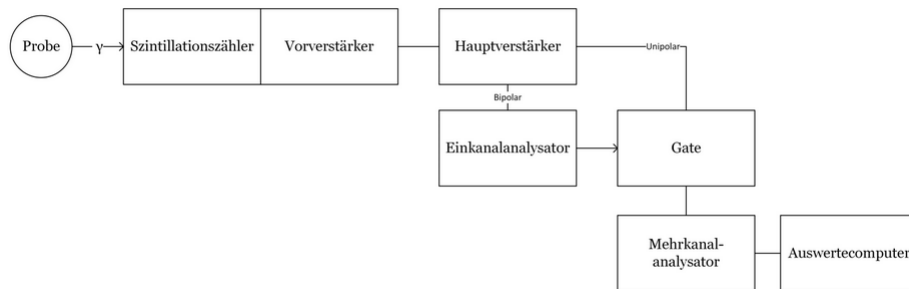


Abbildung 7: Einstellen des SCA

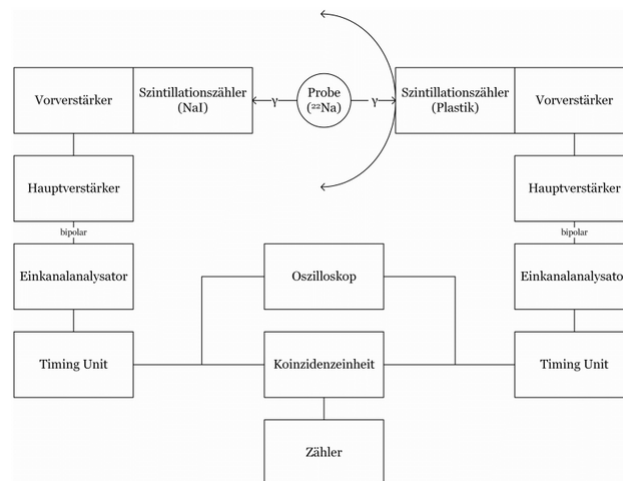


Abbildung 8: Versuchsaufbau zur Winkelkorrelation

4 Versuchsdurchführung

4.1 Signaluntersuchung und Geräteeinstellung

Das vom NaI-Szintillator empfangene Signal kann an verschiedenen Stellen des Versuchsaufbaus abgegriffen werden, was beim Verständnis der einzelnen Funktionsweise der Geräte hilfreich ist. Die entsprechenden Signale können am Oszilloskop dargestellt und abfotografiert werden.

Die erste Möglichkeit das Szintillatorsignal abzugreifen ist direkt am Ausgang des Photomultipliers. In Bild 9 ist das entsprechende Signal zu sehen. Man sieht deutlich den exponentiellen Charakter, der dem Entladen eines Kondensators gleicht.

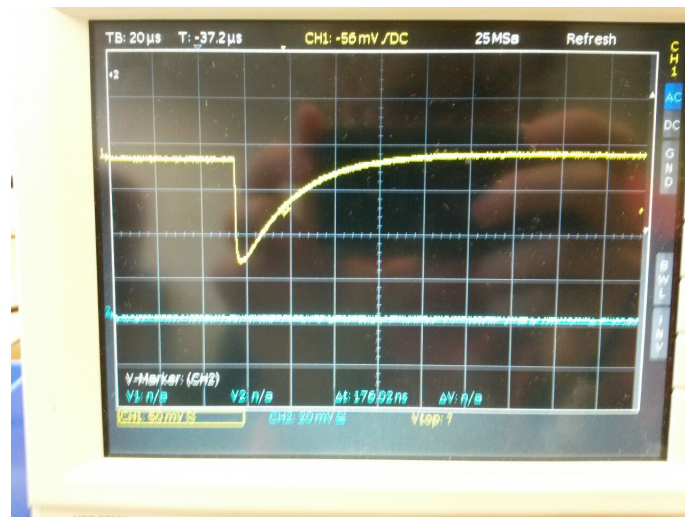


Abbildung 9: Signal am Ausgang des Photomultipliers

Die nächste Stelle sind die Ausgänge des Hauptverstärkers. Man sieht hier deutlich die Gauß-Form des unipolaren und die Dispersionskurvenform des bipolaren Ausgangs.

Das Signal des Hauptverstärkers wird nun weitergeleitet zum SCA, der alle nicht geforderten Energiebereiche aussortiert und die restlichen als Rechteckpulse weiterleitet.

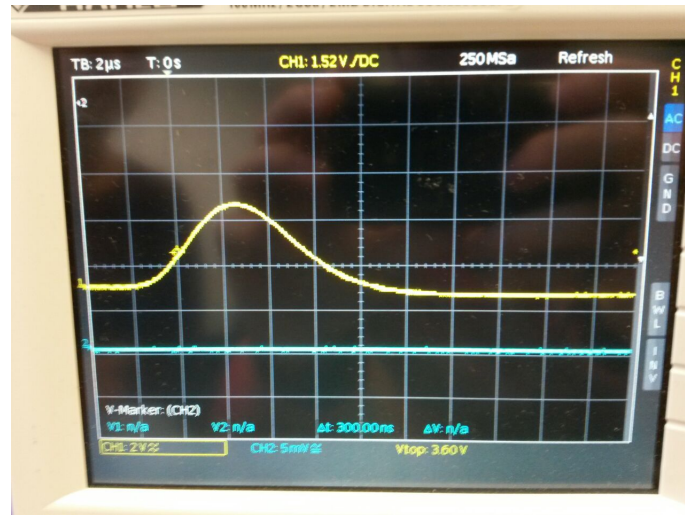


Abbildung 10: Unipolarer Ausgang des Hauptverstärkers

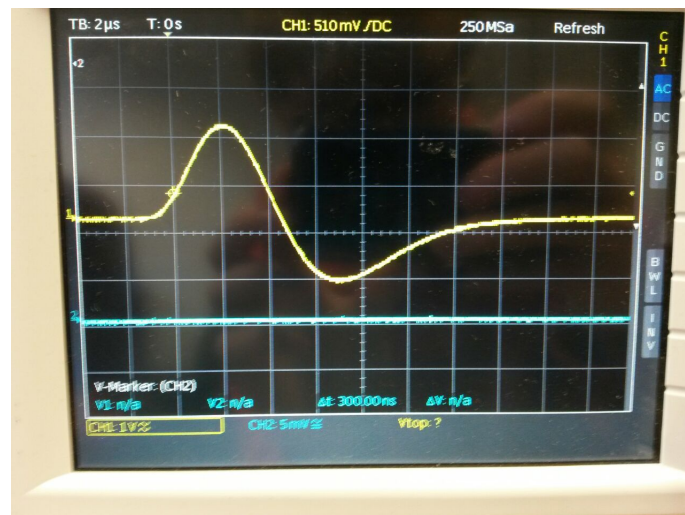


Abbildung 11: Bipolarer Ausgang des Hauptverstärkers

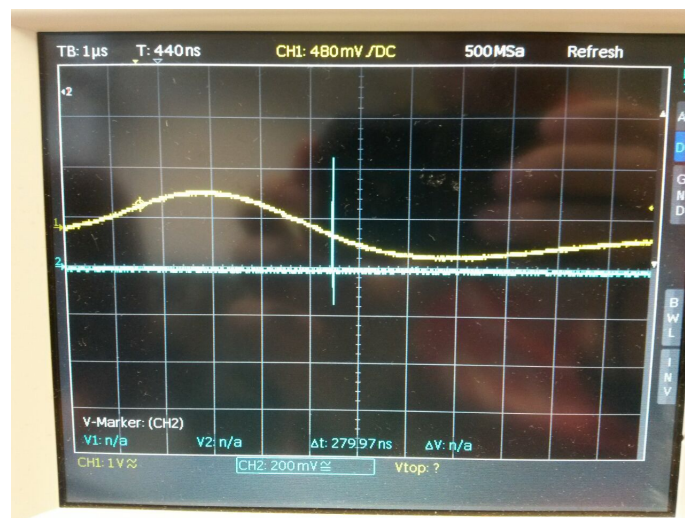


Abbildung 12: Signal des SCA mit bipolarem Eingangssignal

4.2 Energiespektrum von Thorium

Für die Vermessung des Energiesspektrums von Thorium werden zuerst die Spektren von ^{22}Na (30 Minuten), ^{60}Co (30 Minuten) und ^{152}Eu (1 Stunde) vermessen, weil diese charakteristische bekannte Peaks aufweisen und sich deswegen der MCA eichen lässt. Die Vermessung des Thoriums geschieht über Nacht, die Untergrundmessung wird für fast zwei Stunden ($t=6500\text{s}=1,8\text{h}$) aufgenommen. Für die Aufnahmen der Spektren wurden folgende Einstellungen gewählt:

- Kanäle: 4096
- Amplifier: 100
- Coarse gain: 20
- Shaping Time: $2\mu\text{s}$

4.3 Winkelkorrelation

Zu Beginn der Messung müssen die beiden SCA richtig aufeinander eingestellt werden. Aus den vorherigen Messungen ist bereits bekannt, in welchem Bereich der Kanäle der 511keV Peak zu erwarten ist. Hier wird der Bereich zwischen Kanal 489-606 gewählt. Wie bereits erklärt, wird der bipolare Ausgang des Hauptverstärkers über den SCA geleitet, der nur die gewünschten Signale weiterleitet. Dieses Signal wird dann verwendet um im Gate das Durchlassen des Signales des unipolaren Ausgangs weiterzuleiten. Die gleichen Einstellungen werden für den zweiten Szintillator wiederholt. Anschließend werden die Ausgänge an die Zählinheit und den Oszillator geschaltet, wobei das Signal des NaI-Szintillators mit Hilfe der Timing-unit verbreitert wird. Mit Hilfe der auf dem Oszillator sichtbaren Bilder werden die Pulse vom Plastikszintillator nun so eingestellt, dass sie in die NaI-Signale fallen. Schließlich wird der Plastikszintillator im 180° Winkel um die Probe herumgefahren. Da ein Peak bei der 0° -Einstellung erwartet wird, wird die Messung hier in kleineren Schritten durchgeführt, um dort mehr Messwerte zu erhalten.

Für diese Messungen wurden für den Plastik Szintillator folgende Einstellungen gewählt:

- Amplification: 102
- Coarse Gain: 100
- Shaping Time: $3\mu\text{s}$
- Delay: 332
- Timing Unit: $25\mu\text{s}$

Die Einstellung für den NaI-Szintillator wurden beibehalten.

5 Auswertung

5.1 Energiespektrum Thorium

5.1.1 Untergrundmessung

Um die Aktivität des Versuchsaufbaus zu ermitteln wird eine Untergrundmessung von circa zwei Stunden angesetzt. Die graphische Auswertung der in diesem Versuch durchgeführten Messungen erfolgt mit Hilfe des Programms OriginPro. Für den Fehler wird angenommen, dass die Counts poissonverteilt sind, wodurch sich der Fehler auf die Counts als $s_N = \sqrt{N}$ ergibt. Die Zählrate n und der Fehler darauf berechnet sich aus

$$n = \sum_{i=1}^{4093} \frac{N_i}{t} \quad s_n = \frac{s_N}{t} = \frac{\sqrt{N}}{t} = \sqrt{\frac{n}{t}} \quad (4)$$

wobei i den jeweiligen Channel, N die Anzahl der Counts in diesem Channel und t die Dauer der Gesamtmessung darstellt. Man erhält schließlich das Spektrum in Abbildung 13. Bei genauerer Betrachtung sieht man einen

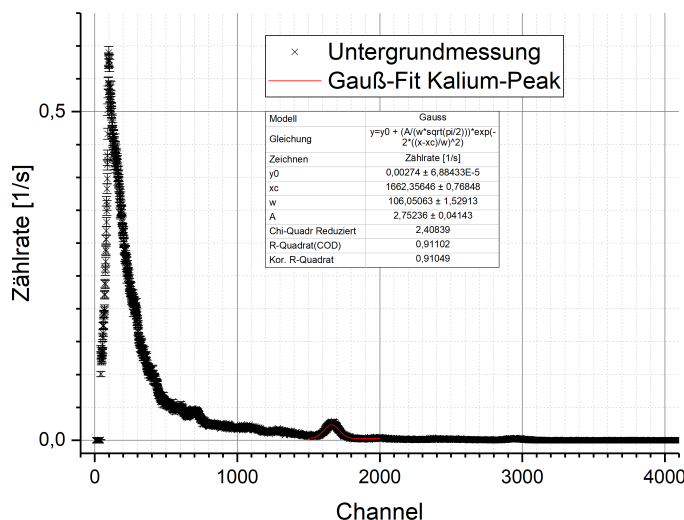


Abbildung 13: Untergrundzählrate

kleinen Peak im Bereich zwischen Channel 1500 und 2000. Mit Hilfe eines Gauß-Fits wurde seine Position genauer bestimmt (siehe ebenfalls Abbildung 13). Es handelt sich hierbei mit großer Wahrscheinlichkeit um den ^{40}K Peak bei einer Energie von 1460,8keV (vergleiche dazu 1).

Mit dem erhaltenen Spektrum können anschließend die gemessenen Spektren der Proben bereinigt werden. Da die Fehler zu klein sind, um in den Abbildungen deutlich sichtbar zu sein und das Ziel ist, auffällige Peaks zu finden, werden sie im Folgenden nicht weiter eingezeichnet. Die gemessenen Spektren, bereinigt vom Untergrund ergeben sich durch

$$n_{korr} = n_{Mess} - n_{Untergrund} \quad (5)$$

5.2 Cobalt-Spektrum

Das Cobalt-Spektrum wird für 30 Minuten aufgenommen und vom Untergrund bereinigt. In Abbildung 14 sind die beiden erwarteten Peaks deutlich zu erkennen.

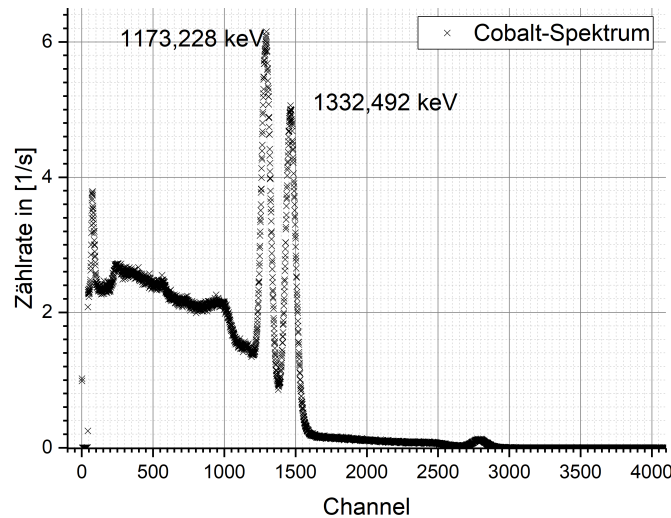


Abbildung 14: Cobalt-Spektrum bereinigt

Mit Hilfe eines Gauß-Fits lassen sich die genauen Positionen der Peaks bestimmen, siehe dazu auch Bild 15.

Die gesammelten Ergebnisse der Fits finden sich anschließend an die Spektren in Tabelle 1.

5.3 Natrium-Spektrum

Das Spektrum von Natrium wurde ebenfalls für 30 Minuten aufgenommen und vom Untergrund bereinigt. Die Positionen wurden analog zu oben wieder mit Gauß-Fits bestimmt.

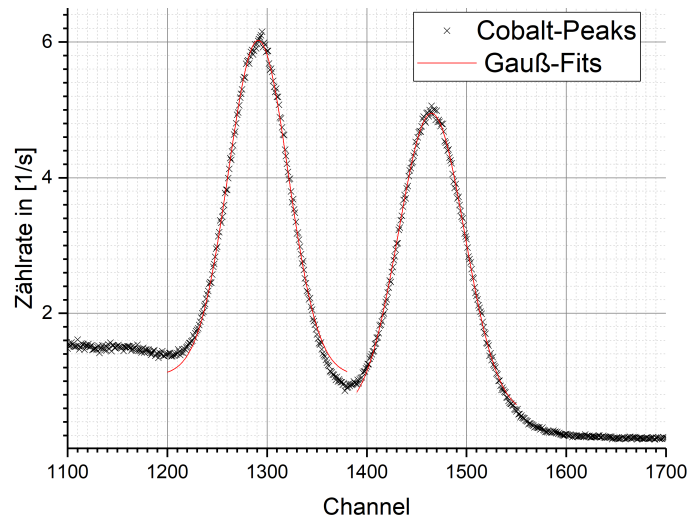


Abbildung 15: Cobalt-Peaks

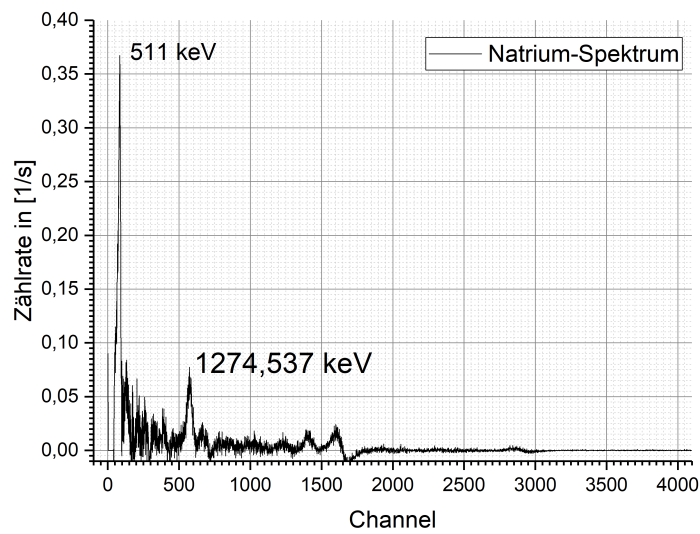


Abbildung 16: Natrium-Spektrum

5.4 Europium-Spektrum

Das Europium-Spektrum wurde für etwas mehr als eine Stunde vermessen ($t=4000s=1,1h$). Das Vorgehen bei der Auswertung ist wieder analog.

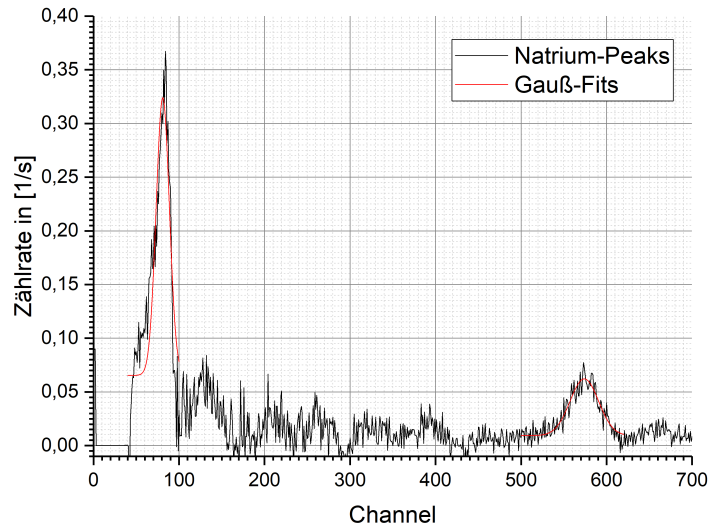


Abbildung 17: Gauß-Fits der Natrium-Peaks

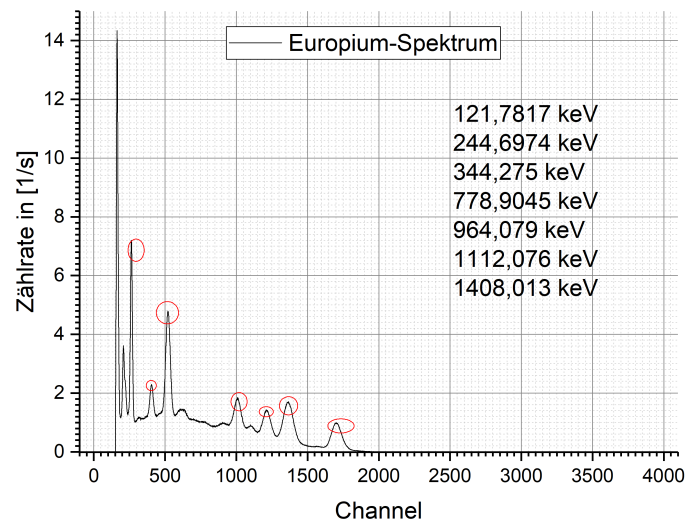


Abbildung 18: Bereinigtes Europium-Spektrum

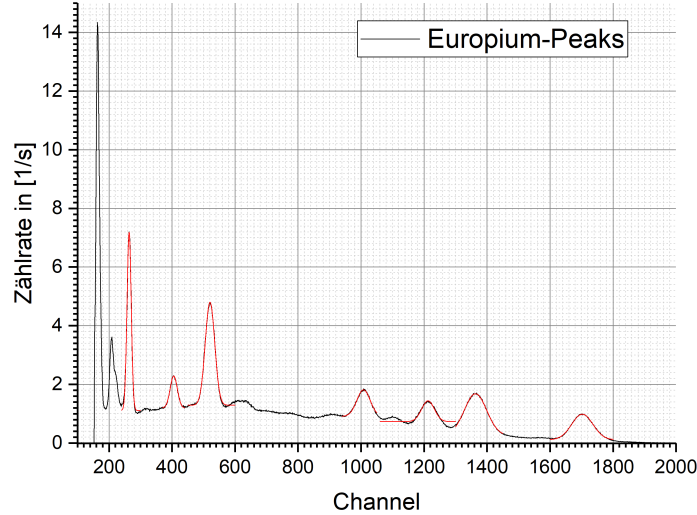


Abbildung 19: Europium-Peaks

5.5 Energieeichung

Die wichtigen Parameter der zuvor erhaltenen Fits werden hier der Übersicht halber zusammengetragen. Die angefitzte Funktion ist

$$y = y_0 + \frac{A}{(\omega \cdot \sqrt{\pi/2})} \cdot e^{-2 \cdot \left(\frac{x-x_c}{\omega}\right)^2} \quad (6)$$

In der Tabelle finden sich außerdem die zugeordneten Energien zu den Channels. Die Fehler auf die Channels stammen aus den Fits. Allerdings sind diese unrealistisch klein und werden deswegen im Folgenden auf $s_{ch} = 10$ gesetzt. Das kann man damit rechtfertigen, dass der durch die Geräte entstandene Fehler schwer einzuschätzen ist, aber vermutlich groß ist.

Anschließend wird eine lineare Regression durchgeführt um für jede Channelnummer die entsprechende Energie zu erhalten. Dabei ist auffällig, dass die Fehler sehr groß sind. Deswegen wird auch versucht, die Regression mit einer Parabel anzufitten, da die Messwerte offensichtlich in keinem linearen Zusammenhang stehen. Durch einen Parabel-Fit sind die Fehler allerdings noch deutlich größer geworden (größer als der eigentliche Wert), weshalb schließlich doch auf den linearen Fit zurückgegriffen wird.

Der zu einer bestimmten Energie gehörige Channel x und sein Fehler berechnen sich nun aus:

$$E(ch) = a + b \cdot x \quad s_E = \sqrt{(s_a)^2 + (x \cdot s_b)^2} \quad (7)$$

Radionukleid	Energie [keV]	x_c (Channel)
Cobalt	1173,2	$1291 \pm 0,1$
	1332,5	$1465 \pm 0,1$
Natrium	511	$81 \pm 0,5$
	1274,5	$574 \pm 0,7$
Europium	121,8	$264 \pm 0,1$
	244,7	$405 \pm 0,1$
	344,3	$520 \pm 0,1$
	778,9	$1008 \pm 0,1$
	964,1	$1213 \pm 0,7$
	1112,1	$1363 \pm 0,1$
	1408	$1702 \pm 0,1$

Tabelle 1: gefundene Channels für die Energien

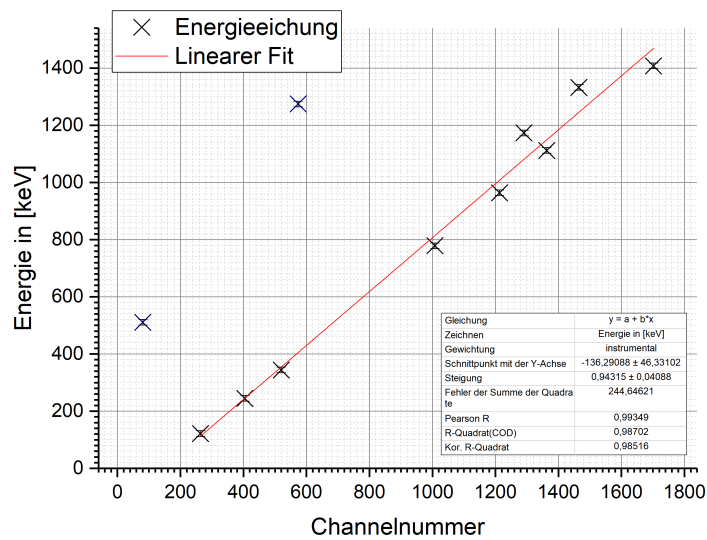


Abbildung 20: Lineare Regression zur Energieeichung

mit

$$s_a = 46,3 \quad s_b = 0,04 \quad (8)$$

5.6 Thorium-Spektrum

Das Thorium-Spektrum wird über Nacht aufgenommen mit einer Gesamt-messzeit von etwas mehr als 16 Stunden ($t=58000\text{s}=16,1\text{h}$). Die Counts werden erneut vom Untergrund bereinigt und es wird nach auffälligen Energie-peaks gesucht. Wie man in Abbildung 21 erkennt, liegen diese bei Thorium eher im unteren Energiebereich.

Wie man bereits an den hier erhaltenen Fitparametern sieht, erhält man

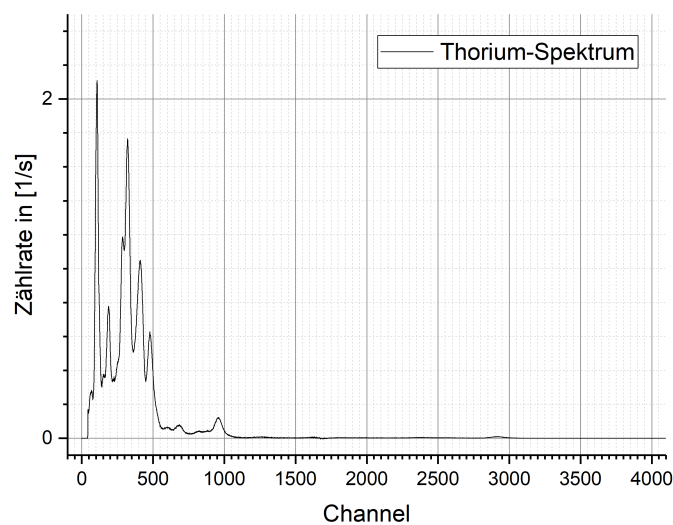


Abbildung 21: Aufnahme des Thorium-Spektrums, vom Untergrund befreit

mit den erhaltenen Messwerten keinen tatsächlich linearen Zusammenhang. Der Fehler ist entsprechend groß auf den Fit.

Wieder werden die Peaks angefitet und mit der oben durchgeführten Linearen Regression werden die zu den Channels gehörigen Energien ermittelt. Die Ergebnisse sind in 2 dargestellt und die Fits in den Abbildungen 23 und 24 zu finden. Für den dritten eingetragenen Peak war es nicht möglich, eine Gauß-Kurve anzufitten.

Die Zuordnung wurde mit Hilfe der Tabelle auf Seite 105 in 1 durchgeführt. Aufgrund der großen Fehler ist es allerdings schwierig den genauen Wert zu finden. Es wurde entsprechend auch die Optik des Spektrums verglichen um ähnlichen Peaks die gleiche Energie zuzuordnen. Beim vierten Peak ist die Nähe zu den beiden angegebenen Energiewerten dadurch zu erklären, dass Peak drei und vier sehr nah beieinander liegen und entsprechend schlecht auseinandergelassen werden können.

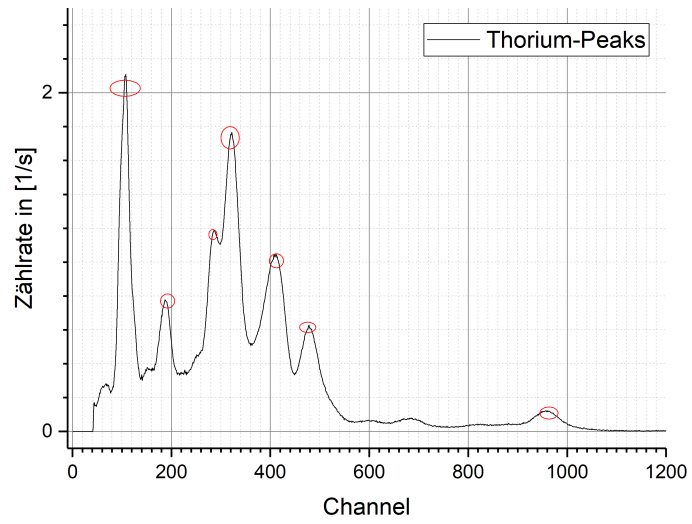


Abbildung 22: Erkennbare Thorium-Peaks

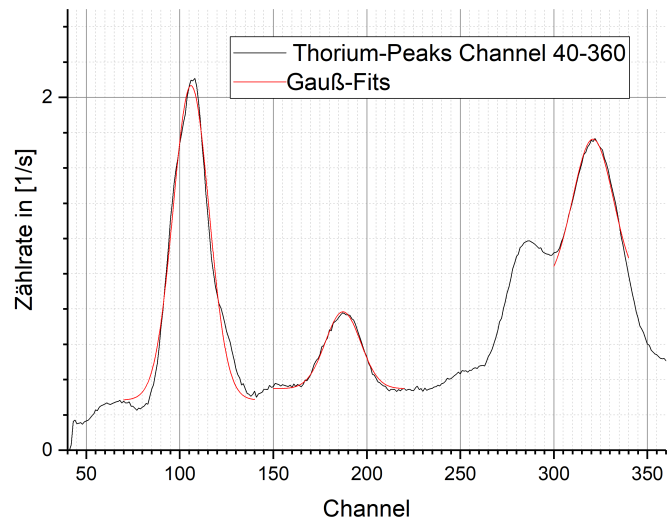


Abbildung 23: Thorium-Peaks im unteren Energiebereich

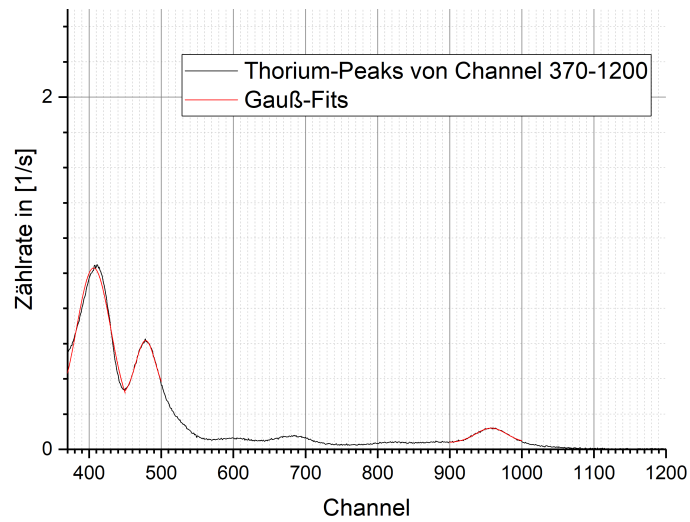


Abbildung 24: Thorium-Peaks im oberen Energiebereich

Peak	Energie [keV]	s_E [keV]	Zuordnung
1	-40,9	46,5	—
2	32	46,9	84,4 ^{228}Th
3	—	—	—
4	152,6	48,0	131,6 ^{228}Th ode
5	229,1	49,0	216,0 ^{218}Th
6	293,9	50,1	300,1 ^{212}Pb
7	725	54,6	804,7 ^{212}Po

Tabelle 2: gefundene Energiewerte

5.7 Winkelkorrelation

Für die Winkelkorrelation wird als Untergrundmessung der Messwert bei 90° verwendet, da hier keine Ereignisse erwartet werden. Anschließend werden die erhaltenen Counts auf die entsprechenden Winkel aufgetragen und eine Gauß-Funktion angefitet. (siehe auch Abbildung 25).

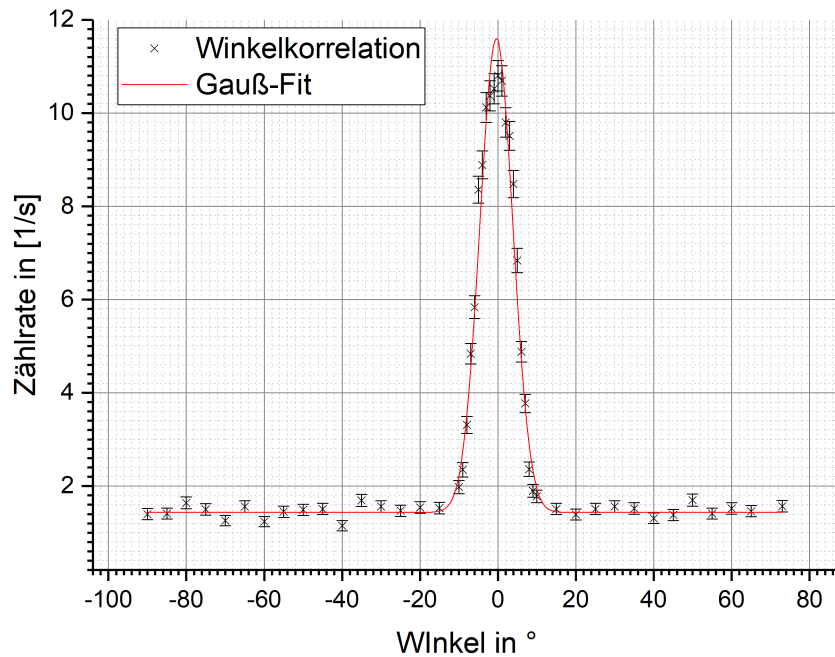


Abbildung 25: Ergebnisse der Winkelkorrelation und der Gauß-Fit

Das Kor.-R-Quadrat ist gegeben als 0,98 was zeigt, das der Fit sieht gut an die erhaltenen Werte anpasst und das Ergebnis als entsprechen glaubwürdig bewerten lässt.

Das erhaltene Maximum des Gauß-Fits liegt bei

$$\theta = (0,4 \pm 0,1)^\circ \quad (9)$$

Das passt sehr gut zu dem erwarteten Wert von 0° .

6 Diskussion

Zu Beginn der Messungen wurden die Geräte geeignet eingestellt und die einzelnen Signalveränderungen mit Hilfe des Oszilloskops überprüft. Anschließend wurden die Spektren von ^{22}Na , ^{60}Co und ^{152}Eu aufgenommen, um eine Energieeichung des MCA durchzuführen. Außerdem wurde eine Untergrundmessung durchgeführt, um die erhaltenen Spektren von der Untergrundstrahlung des Versuchsaufbaus zu befreien. Dabei wurde eine Verunreinigung der Einheit durch ^{40}K gefunden. Bereits bei diesen Aufnahmen war auffällig, dass bei der Aufnahme des Natrium-Peaks deutlich weniger Counts gezählt wurden als bei den anderen Messreihen. Das hat sich später auch in der Auswertung bestätigt. Nach Rücksprache mit Kommilitonen nach der Versuchsdurchführung hat sich herausgestellt, dass es im Praktikum zwei verschiedene Natrium-Proben gibt, eine mit fast keiner Aktivität mehr. Diese wurde anscheinend für diesen Versuchsteil verwendet und ihre erloschene Aktivität mit den Messergebnissen bestätigt.

Für die Energieeichung wurde ein linearer Fit benutzt, da der Versuch die erhaltenen Werte mit einer Parabel zu fitten deutlich größere Fehler und Ungenauigkeiten hervorgerufen hat. Trotzdem ist der erhaltene Fehler, vor allem auf den Schnitt mit der y-Achse, sehr groß, was sich auch durch die weitere Auswertung gezogen hat und sehr große Fehlerfenster geöffnet hat. Für den Fit mussten außerdem die erhaltenen Werte für Natrium maskiert werden, da diese deutlich von der Linearität der anderen Werte abweichen und einen noch größeren Fehler auf den Fit verursacht haben.

Entsprechend unsicher ist die Energiezuordnung der erhaltenen Peaks. Deswegen wurden die Ergebnisse ebenfalls auf optischer Basis mit dem erwarteten Spektrum verglichen, weswegen die Zuordnung größtenteils auf Ähnlichkeiten im Spektrum basiert.

Eine mögliche Fehlerquelle ist die Compton-Streuung, die die erhaltenen Peaks verschoben hat.

Eine weitere Fehlerquelle kann innerhalb des Photomultipliers vermutet werden. Das Dunkelrauschen des Photomultipliers kann durch thermische Anregungen der Photoelektronen deutlich verstärkt worden sein, da die eingebaute Einheit über keine Kühlung verfügt, weswegen der Effekt vermutlich zugenommen hat, je länger der Versuch in Betrieb war. Den selben thermischen Einflüssen ist natürlich auch der Szintillator unterworfen.

Durch die Messung der Winkelkorrelation konnte bestätigt werden, dass die Annihilationsphotonen in einem 180° Winkel emittiert werden. Die kleine Abweichung vom Ergebnis liegt vermutlich an einem Offset der verwendeten Winkelskala.

Literatur

[exam paper]

Tobijas Kotyk: Versuche zur Radioaktivität im Physikalischen Fortgeschrittenen Praktikum an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg <http://omnibus.uni-freiburg.de/~phypra/fp/Versuche/FP1/FP1-3-Szintillationszaehler/> 22.10.2017 13:51

[instructions]

Instruction paper published at <http://omnibus.uni-freiburg.de/~phypra/fp/Versuche/FP1/FP1-3-Szintillationszaehler/> 22.10.2017 13:51