

AP3 Versuch: RAD

Kurs 3 Gruppe 1,
Team 3 - 1:
Frowin Wild 03756921,
Delia Thalmayer 03755894

Versuch durchgeführt am:
21. März 2023

17. April 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theorie	3
3	Experimentelles Vorgehen	6
4	Auswertung	6
4.1	Kalibrierung	6
4.2	Strahlenbelastung	6
4.3	Untergrundmessungen	8
4.4	Messung der Kaliumcarbonat Probe	9
4.5	Messung der Tschernobylprobe: Habichtspilze, 2010	10
4.6	Messung von Uranoxid und Thoriummetall	11
4.7	Messung des Weckers	12
4.8	Messung der Höhenstrahlung	14

5	Fazit	16
6	Anhang	17
6.1	Zusätzliche Überlegungen	17
6.1.1	Die Einheit keV	17
6.1.2	Wieso haben die im Versuch beobachteten Peaks eine Breite? Warum werden nicht alle Quanten einer ganz bestimmten Energie in einem einzigen Kanal gezählt? Was versteht man unter dem Begriff Halbwertsbreite?	17
6.1.3	Aus welchen Peaks setzt sich das Na ²² -Spektrum zusammen	17
6.1.4	Wieso ist in den Spektren eine Linie bei 77 keV zu sehen?	17
6.1.5	Was bedeutet die statistische Unsicherheit beim Zählen der Zerfälle für hohe Zählraten?	18
6.1.6	Warum steigt die Aktivität bei einem frisch gereinigten Präperat erst an?	18
6.1.7	Wie können die verschiedenen Strahlungsarten abgeschirmt werden?	18
6.1.8	Warum sieht man bei Th Linien bei 2615 keV, 2104 keV und 1593 keV?	18
6.1.9	Was passiert mit einem γ -Quant im NaI-Szintillator?	18
7	Quellen	19

1 Einleitung

Radioaktivität ist aufgrund teils hoher Halbwertszeiten ein sehr passendes Mittel um Untersuchungen an Stoffen zu tätigen, um Informationen zu erlangen, welchen Bedingungen dieser Stoff vor sehr langer Zeit ausgesetzt wurde. Aufgrund der einzigartigen Eigenschaften von verschiedenen Radioaktiven Stoffen lässt sich damit sehr viel über die Strahlungsquelle erfahren. Im folgenden Versuch werden einige Proben auf ihre Radioaktivität untersucht, um so Aufschluss über deren Eigenschaften zu erhalten.

2 Theorie

Atomkerne sind radioaktiv, wenn sie sich ohne äußere Einflüsse wandeln. Hierbei gibt es verschiedene Möglichkeiten wie sich der Atomkern wandeln kann, welche alle mit unterschiedlicher radioaktiver Strahlung korrelieren. Grundsätzlich gibt es 4 Arten unter denen Unterschieden wird:

Beim „ **α -Zerfall**“ wird vom Atomkern aus ein Alphateilchen ${}^4_2\text{He}$ mit einer diskreten Geschwindigkeit emittiert, beim „ **β^- -Zerfall**“ wird ein Neutron in ein Proton, sowie ein Elektron umgewandelt. Das Energiespektrum ist hier allerdings kontinuierlich und nicht diskret, was auf die Existenz eines Antineutrinos zurückzuführen ist, beim „ **β^+ -Zerfall**“ zerfällt ein Proton in ein Neutron sowie ein Positron. Das emittierte Positron reagiert mit einem Elektron in seiner Umgebung. Dabei werden zwei γ -Quanten mit der Ruhenergie des Elektrons ($E_\gamma = 511 \text{ keV}$) in einem Winkel von 180° ausgesendet.

beim „**Elektroneneinfang**“ nimmt ein Proton im Kern sich ein Elektron aus der Umgebung der Atomhülle und wird so in ein Neutron umgewandelt. Rücken dann Elektronen aus den höheren Schalen nach um das Loch zu füllen, welches das Elektron hinterlassen hat, so wird dabei Röntgenstrahlung emittiert. Dementsprechend werden für verschiedene Schalen aus dem das Elektron eingefangen wird auch verschiedene Röntgenstrahlen emittiert.

Befindet sich der Kern nach einem α - oder β -Zerfall noch in einem angeregten Energiezustand, so wird beim Übergang in den Grundzustand elektromagnetische Strahlung emittiert. Diese Strahlung nennt man „ **γ -Strahlung**“. Dies ist in dem folgenden Versuch die einzige gemessene Strahlung, da diese mit dem NaI-Szintillator nachgewiesen werden kann.

Wann exakt solch eine Umwandlung im einzelnen stattfindet lässt sich im vorhinein nicht ermitteln. Allerdings lässt sich das Problem statisch beschreiben. Man spricht von der **Halbwertszeit** $T_{1/2}$, also der Zeit, nach der die Anzahl der Zerfallenen Teilchen halb so groß ist wie die Anzahl der Teilchen am Anfang. Die Anzahl der Zerfälle $dN(t)$ in der Zeit dt ist proportional zu den anwesenden instabilen Kernen $N(t)$:

$$dN(t) = -\lambda \cdot N(t) \cdot dt \quad (1)$$

Wobei λ hier die Proportionalitätskonstante ist. die Größe $-\frac{dN(t)}{dt}$ nennt man auch die Aktivität A und sie wird in Becquerel (Zerfall pro Sekunde) angegeben. Es folgt durch Integration:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (2)$$

Dabei ist N_0 die Anzahl der anfänglichen instabilen Teilchen. Damit lässt sich also die Aktivität A beschreiben mit

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (3)$$

Für die Halbwertszeit $T_{1/2}$ folgt schließlich

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad (4)$$

Strahlenart	Wichtungsfaktor w_r
Photonen	1
Elektronen, Myonen	1
Neutronen:	
< 10keV	5
1 keV bis 100keV	10
100keV bis 2 MeV	20
2 MeV bis 20 MeV	10
< 20 MeV	5
Protonen	5
α -Teilchen, Spaltfragmente	20

Tabelle 1: Gewichtungsfaktoren für die Strahlungsdosis^[1]

Ist die Aktivität am Anfang A_0 bekannt, so lässt sich durch Festlegen eines Nullzeitpunktes $t = 0$ und einsetzen und umformen in die vorherigen Gleichungen eine geschlossene Form für die Aktivität nach beliebig viel verstrichener Zeit ermitteln.

$$A(t) = \left(\frac{\ln(2)}{T_{1/2}}\right)^2 \cdot \frac{1}{A_0} \cdot \exp\left(\frac{\ln(2) \cdot t}{T_{1/2}}\right) \quad (5)$$

Allerdings strahlt solch eine Probe Kugelförmig ab und aus diesem Grund bekommt man als beistehende Person nicht die gesamte Strahlungsleistung ab. Unter der Annahme, dass man sich 1 m entfernt von der Probe befindet und der Durchschnittsmensch etwa 1,75 m groß ist, sowie etwa 0,5 m breit, kann man den Raumwinkel Ω bestimmen, den ein Mensch einnimmt. Es folgt

$$\Omega = \frac{1,75 \cdot 0,5}{4 \cdot \pi} \approx 0,07 \quad (6)$$

Das heißt, dass nur etwa 7% der Strahlungsleistung einen tatsächlich erreicht. Befindet man sich nun in diesem Abstand eine gewisse Zeit lang neben einer radioaktiven Probe, so kann man also die Strahlungsbelsatzung errechnen, die man abbekommen würde. Es wird weiterhin vom schlechtesten Fall ausgegangen werden, also dass alle γ -Quanten die auf den Menschen treffen auch tatsächlich absorbiert werden. Sei E_0 die Energie eines der emittierten γ -Quanten, dann folgt also für die absorbierte gesamt-Energie E_{abs} nach einer Zeitspanne t

$$E_{abs} = 7\% \cdot E_0 \cdot \int_0^t A(t) dt = 7\% \cdot E_0 \cdot (N(0) - N(t)) \quad (7)$$

Häufig ist man jedoch nicht an der gesamt absorbierten Energie, sondern die Strahlungsdosis H , die man abbekommt interessiert. Diese wird in Sievert (Sv) angegeben und benötigt zum berechnen die Energiedosis D :

$$D = \frac{E_{abs}}{m} \quad (8)$$

Uraniumreihe (Auszug):

U-238	$4,5 \cdot 10^9$ a	α	50(21%)		
Th-234	24,1 d	β^-	63(5%)	93(3%)	93(3%)
Pa-234	1,2 min	β^-	1001(0,8%)	767(0,3%)	
Ra-226	1600 a	α	186(6%)		
Pb-214	26,8 min	β^-	352(36%)	295(19%)	
Bi-214	19,8 min	$\alpha, (\beta^-)$	609(45%)	1765(15%)	1120(15%)

Thoriumreihe (Auszug):

Th-232	$1,4 \cdot 10^{10}$ a	α			
Ac-228	6,13 h	β^-	911(27%)	969(16%)	339(11%)
Ra-224	3,46 d	α	241(4%)		
Pb-212	10,6 h	β^-	239(43%)		
Bi-212	60,6 min	α, β^-	727(7%)		
Tl-208	3,1 min	β^-	2615(36%)	583(31%)	511(8%) 860(5%)

Abbildung 1: γ -Energien für Uran- und Thorium-Reihen

wobei m der Masse entspricht. Die Energiedosis D wird in Gray (Gy) angegeben. Um nun die Energiedosis in Strahlungsdosis H umzurechnen werden nun die verschiedenen Strahlungsarten, wie in Tabelle (1) gezeigt, mit dem Wichtungsfaktor w_r gewichtet. Es folgt also

$$H = w_r \cdot D = w_r \cdot \frac{E_{abs}}{m} \quad (9)$$

In dem Experiment wird die γ -Strahlung wie schon erwähnt mit einem NaI-Szintillator gemessen. Dieser kann nicht genau sagen, welche absolute Energie die γ -Strahlung besitzt, allerdings kann man damit relativ zu der restlichen Strahlung die Energielevel herausfinden. Aus diesem Grund muss man den NaI-Szintillator erst kalibrieren mit einigen bereits bekannten radioaktiven Proben. Dafür bietet sich zum Beispiel Cs-137, Co-60 und Na-22 an, da diese sehr ausgeprägte Spektren besitzen mit bereits bekannten Energieniveaus. Diese liegen bei Na-22 bei 1275 keV, bei Co-60 bei 1173 keV und bei 1333 keV und bei Cs-137 bei 662 keV. Weitere für diese Arbeit wichtige γ -Energien sind in Abbildung (1) vermerkt. Man wird merken, dass neben den erwarteten Peaks auch noch kleinere Peaks in höheren Energiebereichen sichtbar sind. Diese werden dadurch begründet, dass der NaI-Szintillator zwei oder mehr γ -Quanten gleichzeitig detektiert, demnach ist die Energie hier genau die Summe der erwarteten Energieniveaus. Außerdem muss man beachten, dass ein Maximum bei genau 511 keV nur indirekt mit der γ -Strahlung korreliert, sondern tatsächlich durch den β^+ -Zerfall verursacht wird. Auffallen tut, dass der Detektor auch ohne Probe ein Spektrum radioaktiver Strahlung empfangen wird. Das liegt sowohl an kosmischer Strahlung wie auch terrestrischer Strahlung. Trotz Versuchen die Strahlung abzuschirmen wird trotzdem eine gewisse Grund-Strahlung gemessen werden. Diese kann man aufgrund des Superpositionsprinzip abziehen und kommt so auf die gemessene Strahlung der Probe.

3 Experimentelles Vorgehen

In diesem Versuch wird die γ -Strahlung von verschiedenen Proben gemessen. Die Messungen werden mit einem NaI-Szintillator durchgeführt. Dieser enthält einen NaI-Kristall, welcher Licht aussendet, wenn er durch γ -Strahlung angeregt wird. Dieses Licht kann in einem Photomultiplier nachgewiesen werden.

Im ersten Teil des Versuchs muss das Messgerät kalibriert werden, das bedeutet, dass bestimmt werden muss welcher Channel der Anzeige des Programms welcher Energie entspricht. Dies wird mithilfe von Eichproben erreicht, also Proben, deren ausgesandtes Spektrum bekannt ist. Es werden Na^{22} , Co^{60} und Cs^{137} verwendet. Die Proben werden jeweils vor den Detektor gestellt und dann mit Bleiziegeln umgeben. Dann wird die emmitierte Strahlung 60s lang gemessen.

Als nächstes wird die Untergrundstrahlung gemessen. Der Detektor wird 10 Minuten lang ohne Proben laufen gelassen. Dies wird einmal mit Bleiziegeln um den Detektor durchgeführt und einmal ohne.

Als nächstes wird eine zehnminütige Messung einer Probe von Kaliumkarbonat durchgeführt. Auch diese wird wieder in Bleiziegel eingebaut. Das selbe wird mit einer Probe von Pilzen von 2010 durchgeführt. Ebenso werden fünfminütige Messungen von Uranoxid und Thoriummetall durchgeführt. Die letzte Probe ist ein Wecker mit Leuchtziffern, dessen Spektrum 20 Minuten lang aufgenommen wird.

Für die Messung der Höhenstrahlung werden die auf Moodle gegebenen Werte verwendet.

4 Auswertung

4.1 Kalibrierung

Zunächst soll der NaI-Szintillator kalibriert werden, da dieser wie eben bereits beschrieben keine absoluten Energie-Werte angibt, sondern nur sogenannte "Channel". Dafür werden 3 bekannte Proben mit dem NaI-Szintillator gemessen und deren Spektrum bestimmt. Man kann gut die Maxima herauslesen. Diese müssen linear mit der Energie korrelieren. Aus diesem Grund kann man den Maxima die bekannten Energieniveaus zuordnen. In Tabelle (2) findet man die zur Kalibrierung genutzten Energieniveaus. Außerdem wurden die γ -Quanten der β^+ Strahlung beim Na-22 wie im Theorieteil bereits beschrieben berücksichtigt. In Abbildung (2) wird dann die Zählrate entgegen der Energie aufgetragen, wobei hier für die Energie der in Abbildung (3) zu sehende Fit verwendet wurde. Man sieht auch, dass alles andere als ein linearer Fit nicht mit den Messwerten übereinstimmen würde.

Der Fit ergab die Funktion: $f = (2.96 \pm 0.04) \cdot x - (33.87 \pm 20.63)$

4.2 Strahlenbelastung

Im weiteren wird die Strahlenbelastung des Cs-137 etwas näher untersucht. Laut Hersteller soll das Cs-137 im Jahr 1992 eine Aktivität von 333 kBq gehabt haben. Setzt man das in die Gleichung (3) ein, und $t = 0$ für das Jahr 1992 so erhält man

$$\lambda \cdot N_0 = 333 \text{ kBq} \quad (10)$$

Außerdem gilt für Cs-137 eine Halbwertszeit von 30,2 Jahren (siehe Tabelle (2)). Daraus folgt

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{30,2 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}} \approx 727,79 \cdot 10^{-12} \frac{1}{\text{s}} \Rightarrow N_0 = \frac{333 \text{ kBq}}{\lambda} = \frac{333 \text{ kBq}}{727,79 \cdot 10^{-12}} \approx 457,55 \cdot 10^{12} \quad (11)$$

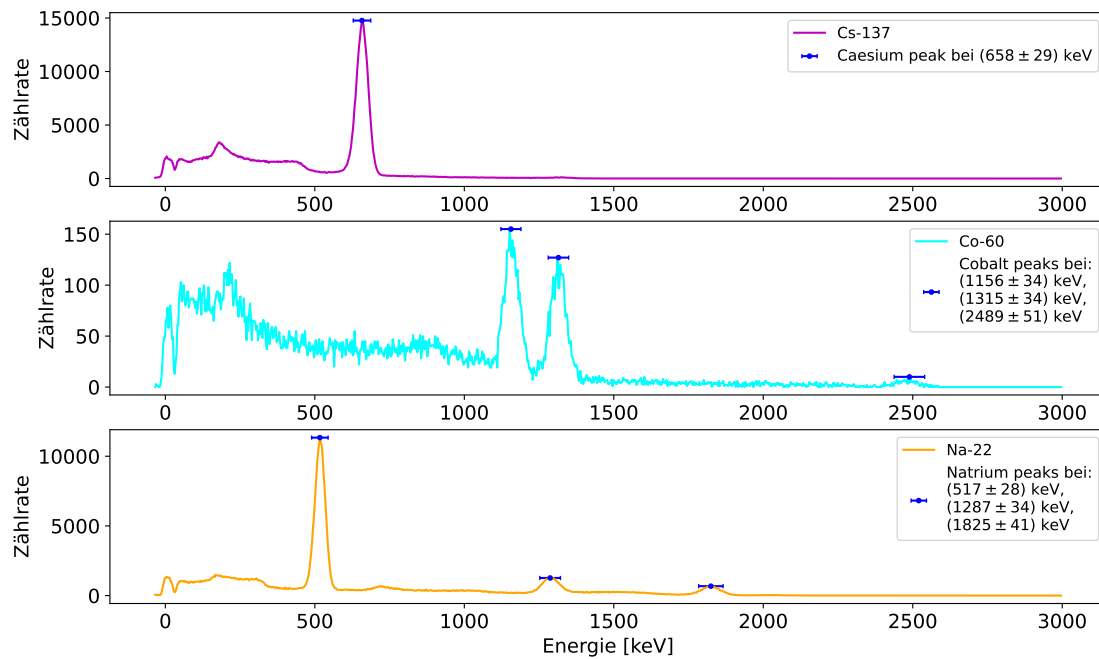


Abbildung 2: Spektrum des NaI-Szintillator für a.) Cs-137, b.) Co-60 und c.) Na-22

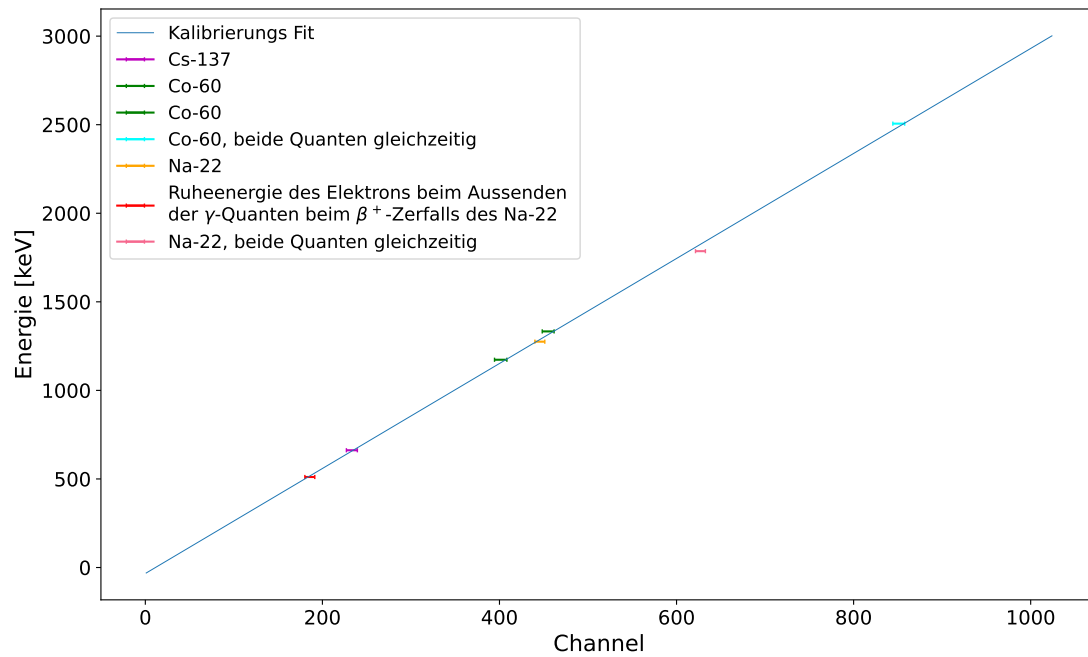


Abbildung 3: Kalibrierung

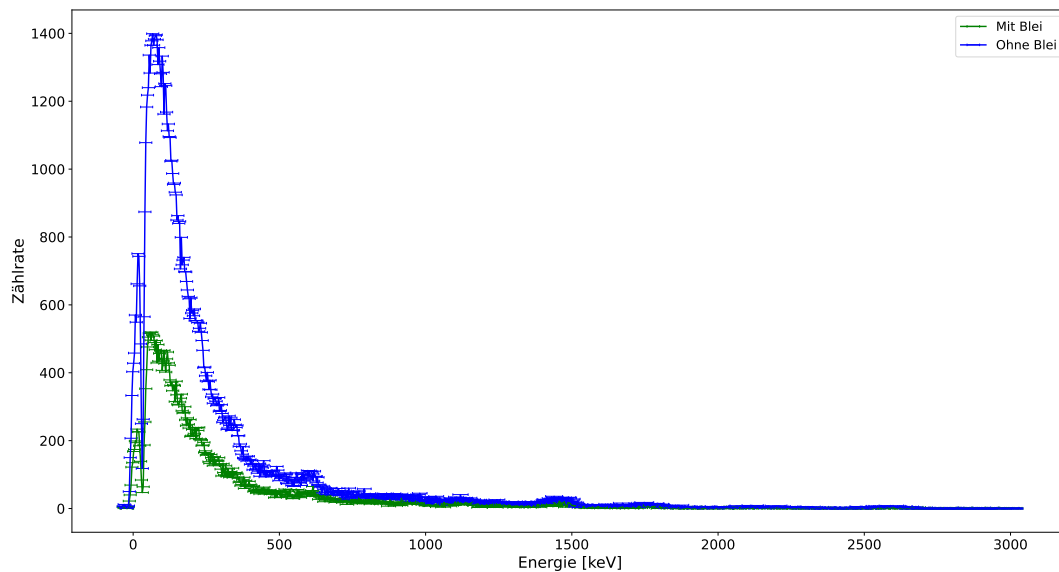


Abbildung 4: Untergrundmessung des radioaktiven Spektrums, einmal mit Blei-Abschirmung und einmal ohne

Zum Zeitpunkt des Versuches sind ungefähr 31 Jahre vergangen. Bedient man sich der Gleichung (3), dann folgt

$$A(31a) = 727,79 \cdot 10^{-12} \frac{1}{s} \cdot 457,55 \cdot 10^{12} s \cdot \exp(-727,79 \cdot 10^{-12} \cdot 31 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) \approx 782,43 \cdot 10^{-24} = 163,47 \text{ kBq} \quad (12)$$

Die Probe strahlt also mit einer Aktivität von ca 163,47 kBq. Will man nun die in einem Jahr absorbierte Energie eines in etwa 1 m entfernten Menschen berechnen, so geht man vor wie in Gleichung (7). Es folgt mit den errechneten λ und N_0 , sowie Gleichung (2):

$$E_{abs} = 7\% \cdot E_0 \cdot 85\% \cdot (N(0) - N(t)) = 0,07 \cdot 0,85 \cdot 662 \text{ keV} \cdot N_0 \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}) \approx 4,089 \cdot 10^{17} \text{ eV} \approx 0,0655 \text{ J} \quad (13)$$

Zu beachten ist hier, dass wie auch in Tabelle (2) gezeigt die Energie der γ -Strahlung mit einem Faktor von 0,85 gewichtet werden muss. Setzt man E_{abs} in Gleichung (9) ein, sowie eine geschätzte Masse von 70 kg, so erhält man die Strahlendosis H :

$$H \approx 9,36 \cdot 10^{-4} \text{ Sv} \quad (14)$$

4.3 Untergrundmessungen

Da der Kristall des NaI-Szintillators die absorbierte Energie pro Masse angibt, ist es sinnvoll seine Masse zu bestimmen. Die Dichte ρ liegt laut Hersteller bei vorliegendem Gerät bei $\rho = 3,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, der Durchmesser bei $d = 7,62 \text{ cm}$ und die Höhe bei $h = 7,62 \text{ cm}$, folgt damit für die Masse m_{Kristall}

$$m_{\text{Kristall}} = \rho \cdot \pi \frac{d^2}{4} h \approx 1,29 \text{ kg} \quad (15)$$

Wie bereits beschrieben wird nicht nur von der Probe erzeugte Strahlung aufgenommen, sondern auch eine Grund-Strahlung. Diese ist in Abbildung (4) abgebildet. Man sieht, wie das Blei die Strahlungsleistung um

Isotop	Halbwertszeit [a]	Zerfall	γ_1 [keV]	γ_2 [keV]
Na-22	2,6	β^+	1275	
Co-60	5,3	β^-	1173	1333
Cs-137	30,2	β^-	662 (85%)	
Ka-40	$1,3 \cdot 10^9 a$	β^+	1461 (11%)	

Tabelle 2: Energie der γ -Quanten einiger bekannter Proben zur Kalibrierung des NaI-Szintillator, sowie deren Halbwertszeit^[1]

gut 75% eindämmt, aber trotz des Bleis noch eine Grundstrahlung vorhanden ist, die nicht vernachlässigbar ist. Aus dieser Messung lässt sich nun die jährliche durch diese Grundstrahlung verursachte Strahlenbelastung abschätzen. Dafür muss angenommen werden, dass jedes γ -Quant auch im Detektor nachgewiesen wird und dass jeder Mensch alle γ -Quanten komplett absorbiert. Außerdem wird von der durchschnittlichen Energie der γ -Quanten von 100 keV ausgegangen. In den 10 Minuten wurden insgesamt

$$N_{10min, Untergrund} = 104345 \quad (16)$$

γ -Quanten gemessen. Das bedeutet das in einem Jahr $N_{1a, Untergrund}$ Quanten gemessen werden können, wobei für $N_{1a, Untergrund}$ gilt:

$$N_{1a, Untergrund} = N_{10min, Untergrund} \cdot 6 \cdot 24 \cdot 365 = 5484373200 \quad (17)$$

Mit der angenommenen mittleren Energie der Quanten von 100 keV ergibt sich also eine absorbierte Energie $E_{1a, Untergrund}$ von

$$E_{1a, Untergrund} = N_{1a, Untergrund} \cdot 100 \text{ keV} = 5,48 \cdot 10^{14} \text{ eV} = 8,79 \cdot 10^{-5} \text{ J} \quad (18)$$

Damit berechnet sich die Energie pro Masse $D_{1a, Untergrund}$ des Kristalls zu

$$D_{1a, Untergrund} = \frac{E_{1a, Untergrund}}{m_{\text{Kristall}}} = 68,1 \mu\text{Sv} \quad (19)$$

Dies ist dementsprechend auch die Strahlendosis, die man in einem Jahr aufnehmen würde. Sie ist deutlich größer als die durch die Probe hervorgerufene Radioaktivität.

4.4 Messung der Kaliumcarbonat Probe

Zuerst soll berechnet werden, wie viele K-Atome in der K_2CO_3 -Probe sind. Die Masse eines K_2CO_3 -Moleküls ist: $m = 138 \text{ amu}$ (K = 39 amu, C = 12 amu, O = 16 amu). Die Probe wiegt insgesamt 100g, das entspricht $60,22 \cdot 10^{24} \text{ amu}$. Teilt man dies nun durch das Gewicht eines Moleküls, erhält man die Anzahl der Moleküle. Da in einem K_2CO_3 -Molekül zwei Kalium-Atome sind muss man die Zahl noch verdoppeln, um die Anzahl an Kalium-Atomen zu erhalten:

$$n_K = 8,73 \cdot 10^{23} \quad (20)$$

Nun sind 0,01% davon radioaktive K^{40} Atome, das entspricht:

$$N_{0, K^{40}} = 8,73 \cdot 10^{19} \quad (21)$$

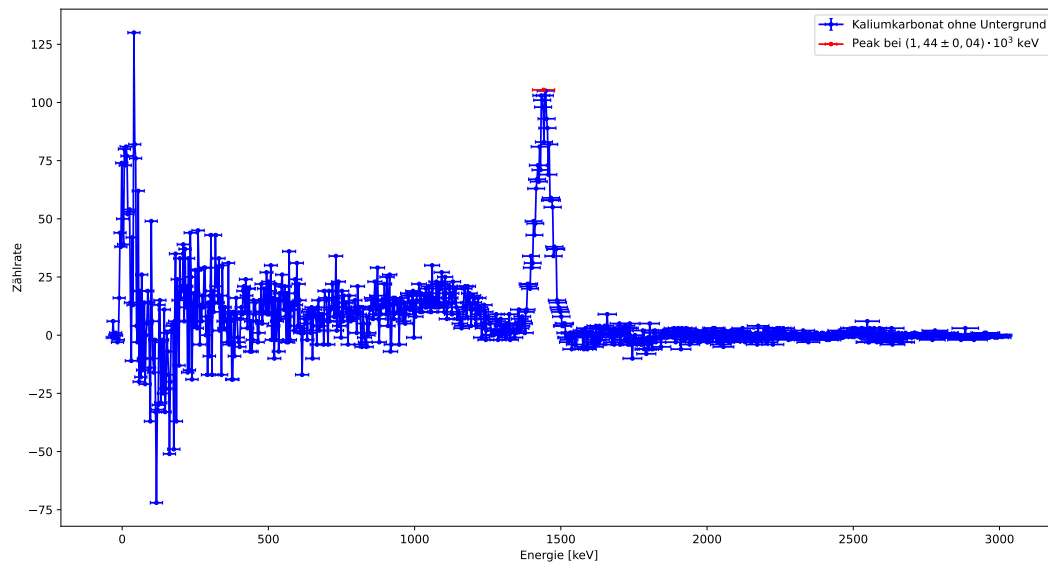


Abbildung 5: Messung des Spektrums von Kaliumkarbonat mit abgezogenem Untergrund über 10 Minuten

K^{40} hat eine Halbwertszeit von $T_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$ a. Durch Umstellen der Formel (4) kann λ bestimmt werden:

$$\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} = \lambda = 541,52 \cdot 10^{-12} \text{ a}^{-1} = 1715,98 \cdot 10^{-20} \text{ s}^{-1} \quad (22)$$

Das λ kann dann in die Formel für die Aktivität (3) eingesetzt werden. So kann dann die Anzahl der Zerfälle pro Sekunde bestimmt werden:

$$A(1) = 1498,05 \text{ Bq} \quad (23)$$

Aus den gemessenen Daten ergibt die Zählrate $A_{\text{mess}} = 1,59 \text{ Bq}$. Diese wird bestimmt, indem die Zählrate durch die Messdauer geteilt wird. Ausserdem muss berücksichtigt werden, dass nur bei 11% der Zerfälle γ -Strahlung ausgesandt wird.

Die gemessene Zahl ist deutlich kleiner als die tatsächliche, was vermutlich daran liegt, dass nur ein kleiner Teil der Strahlung auf den Detektor trifft, und ein sehr großer Teil in andere Raumrichtungen abgestrahlt wird.

4.5 Messung der Tschernobylprobe: Habichtspilze, 2010

Als nächstes werden Pilze in Bayern auf ihre Rückstände von Radioaktivität Aufgrund der Tschernobylprobe überprüft. Wie in Abbildung (6) ersichtlich wird, ist nur noch sehr wenig Strahlung überhaupt übrig geblieben und das meiste ist bereits zerfallen. Unter einem Wert von 500 keV sind die Werte zu ungenau um sie Auswerten zu können. Das große Maximum bei ca. 280 keV würde am ehesten noch auf Hg-22 hindeuten, welches aber in keinem Zusammenhang mit der Tschernobylprobe steht und deswegen eher als Messfehler gedeutet wird. Trotz allem relativ gut erkennbar und im Konfidenzintervall liegt das Maximum des Cs-137, welches auf seiner hohen Halbwertszeit immer noch detektiert werden kann. Das Maximum bei 1461 keV könnte weiterhin auf Ka-40 hindeuten, ist aber nur sehr schwach zu sehen. Um die Frage zu beantworten, ob die Pilze nun essbar sind, müssen erst wieder die Vereinfachungen getroffen werden, dass alle γ -Quanten absorbiert werden und das

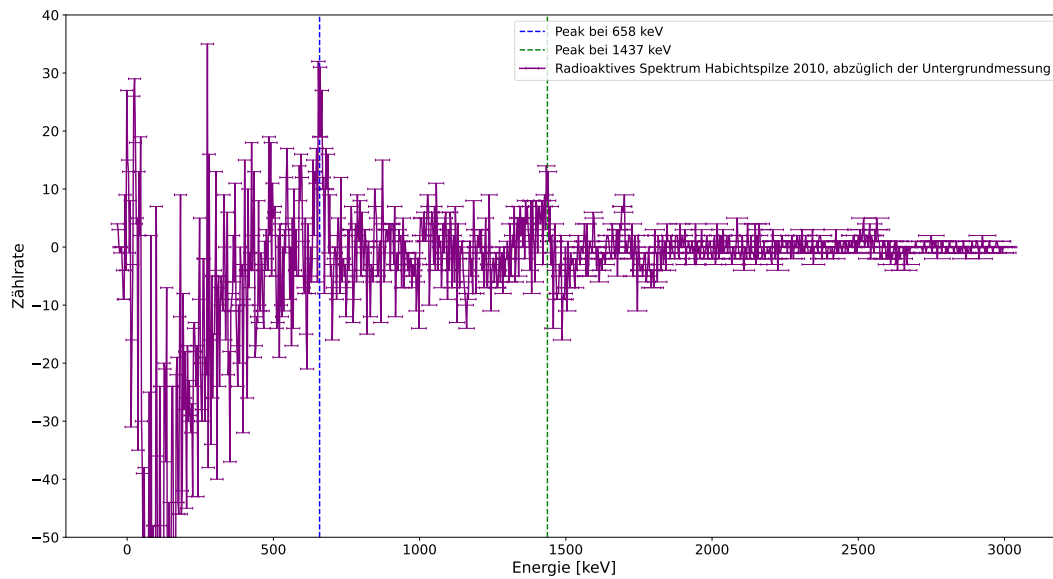


Abbildung 6: Radioaktives Spektrum von Habichtspilzen

die Probe im Körper gleichmäßig verteilt wird. Zudem soll die Probe eine Woche lang im Körper bleiben. Die gezählten γ -Quanten in den zehn Minuten betragen für die Cs-137 Linie etwa $N_{Cs} = 32$ und für das Kalium etwa $N_K = 14$. Da in diesem Fall die gesamte Strahlung absorbiert wird, und der Detektor nur geschätzte 15% der Strahlung detektiert muss dieser Wert dementsprechend angepasst werden. Es folgt

$$E_{ges,10min} = \frac{32 \cdot 662 \text{ keV} \cdot 0,85}{15\%} + \frac{14 \cdot 1461 \text{ keV} \cdot 0,11}{15\%} \approx 135 \text{ MeV} \quad (24)$$

Für die ganze Woche und pro Körpergewicht gilt dann für die Strahlenbelastung

$$H \approx 0,31 \text{ nSv} \quad (25)$$

Dies ist also ein Hundertstel der errechneten Strahlenbelastung der wir sowieso schon ausgesetzt sind und damit vollkommen ungefährlich zum essen, unter der Voraussetzung, dass die Annahmen ein annäherungsweise sinnvolles Modell ergeben.

4.6 Messung von Uranoxid und Thoriummetall

In Tabelle (1) sind die erwarteten Energieniveaus für die Zerfallsreihe von Uranoxid und Thorium zu finden. Diese liegen im Konfidenzintervall mit den bestimmten Werten in Abbildung (1). Die Ergebnisse der zugeordneten Linie sind in Tabelle (4) zu finden.

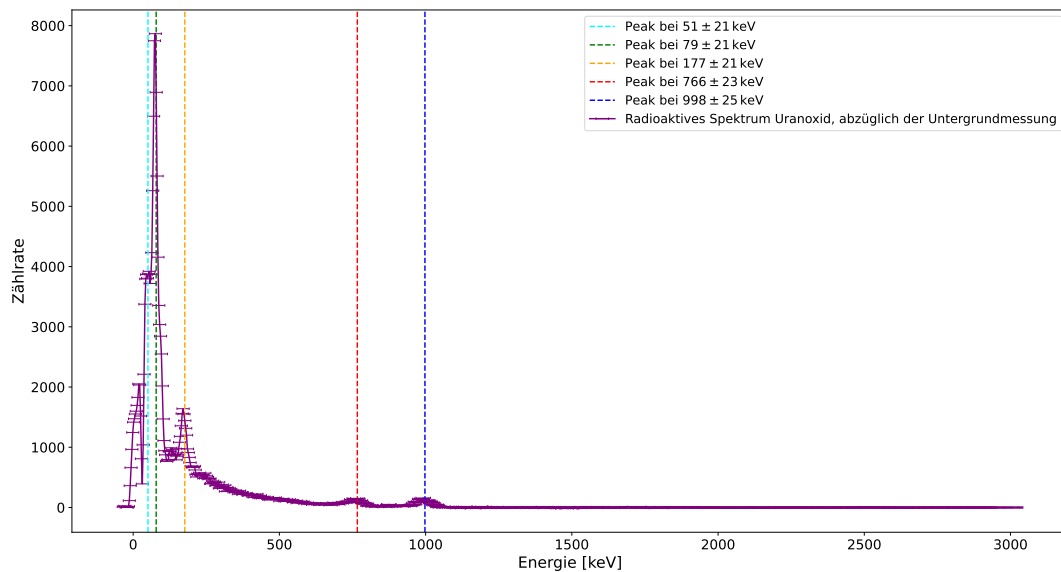


Abbildung 7: Radioaktives Spektrum von Uranoxid sowie deren ermittelte Energieniveaus. Man kann die Werte gut mit denen aus der Abbildung (1) vergleichen

gemessene Energie der Wellenlänge [keV]	zugehöriges Isotop
51 ± 21	U-238
79 ± 21	Th-234
177 ± 21	Ra-226
766 ± 23	Pa-234
998 ± 25	Pa-234

Tabelle 3: zugeordnete Maxima zu den Isotopen, für die Uran-Messung

Analog findet man dazu die Thoriummetallmessung in Abbildung (8), sowie die Ergebnisse in Tabelle (4).

4.7 Messung des Weckers

Analog zu vorher lässt sich für den Wecker das radioaktive Spektrum messen. Dies ist in Abbildung ?? zu sehen, die zugeordneten Maxima in Tabelle (5). Man kann vermuten, dass in dem Wecker vorallem Uran-238 verbaut wurde und der Rest Zerfallsprodukte des Urans sind.

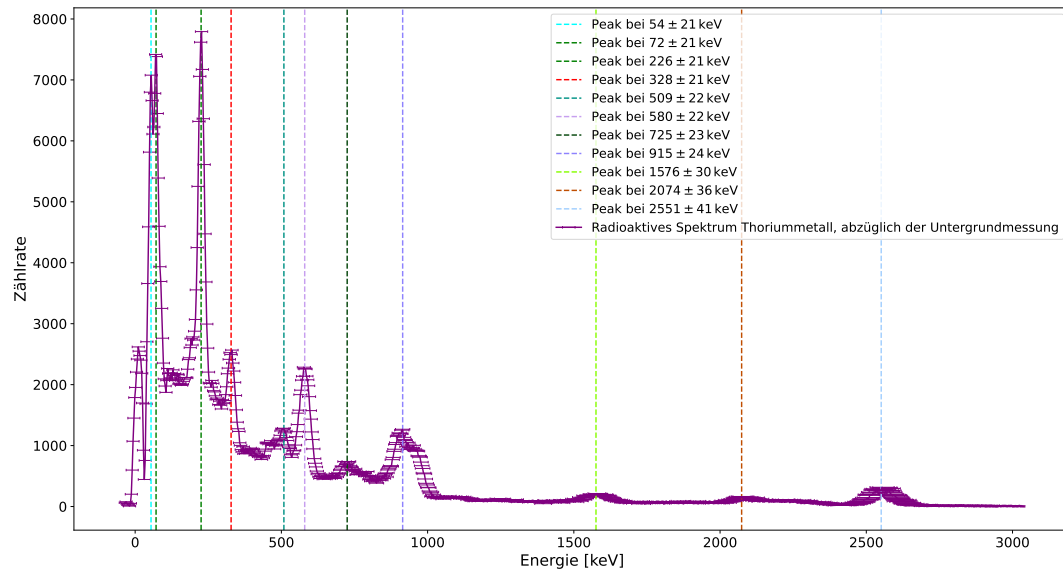


Abbildung 8: Radioaktives Spektrum vom Thoriummetall sowie deren ermittelte Energieniveaus. Man kann die Werte gut mit denen aus der Abbildung (1) vergleichen

gemessene Energie der Wellenlänge [keV]	zugehöriges Isotop
54 ± 21	U-238
72 ± 21	Th-234
226 ± 21	Ra-224
328 ± 21	Ac-228
509 ± 22	Tl-208
580 ± 22	Tl-208
725 ± 23	Bi-212
915 ± 24	Ac-228
1576 ± 30	double escape Peak von Tl-208
2074 ± 36	single escape Peak von Tl-208
2551 ± 41	Tl-208

Tabelle 4: zugeordnete Maxima zu den Isotopen, für die Thoriummetall-Messung

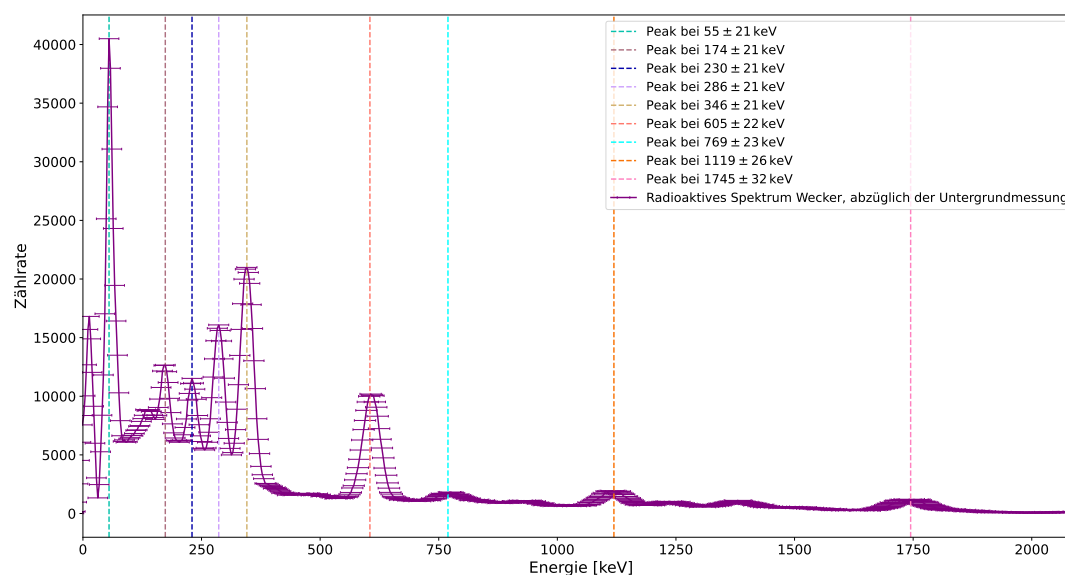


Abbildung 9: Radioaktives Spektrum vom Wecker sowie deren ermittelte Energieniveaus. Man kann die Werte gut mit denen aus der Abbildung (1) vergleichen

gemessene Energie der Wellenlänge [keV]	zugehöriges Isotop
55 ± 21	U-238
174 ± 21	Ra-226
230 ± 21	single escape Peak von Pa-234
286 ± 21	Pb-214
346 ± 21	Pb-214
605 ± 22	Bi-214
769 ± 23	Pa-234
1119 ± 26	Bi-214
1745 ± 32	Bi-214

Tabelle 5: zugeordnete Maxima zu den Isotopen, Messungen am Wecker

4.8 Messung der Höhenstrahlung

Zunächst muss der Detektor neu kalibriert werden, da bei der Höhenstrahlung Teilchen mit sehr viel mehr Energie gemessen werden. Dafür wird wieder wie vorher das Spektrum von Co-60 hergenommen. Die Kalibrierungskurve kann in Abbildung (10) gesehen werden. In Abbildung (11) ist das Spektrum des Co-60 mit der neuen Kalibrierung gezeichnet.

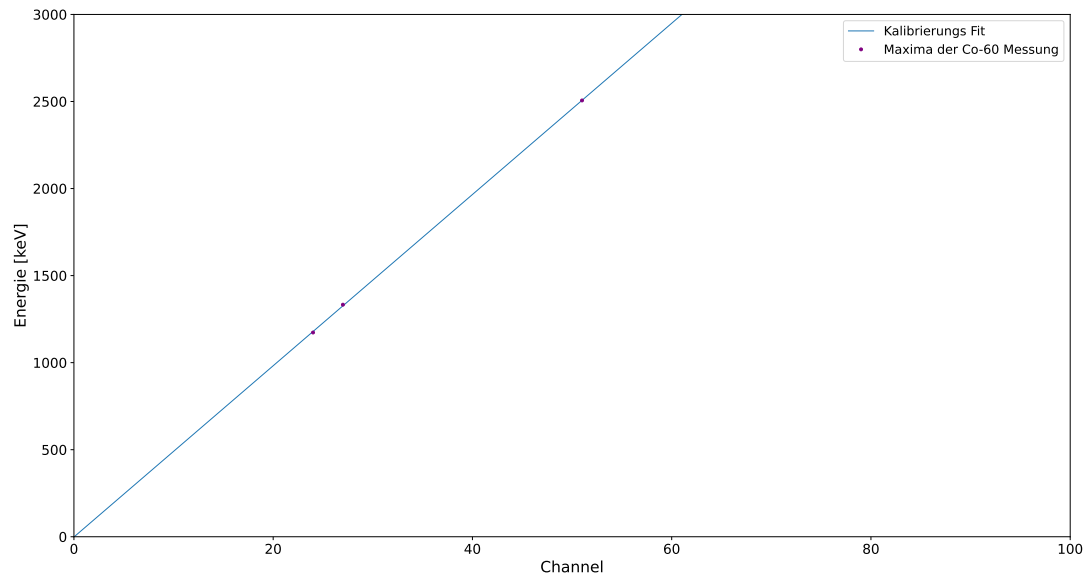


Abbildung 10: Maxima der CO-60 Messung bei der Höhenstrahlungsmessung zur Kalibrierung mit Fit an $m \cdot x + b$, $m = (49,18 \pm 0,4) \text{ keV}$, $b = (-1,46 \pm 15,26) \text{ keV}$

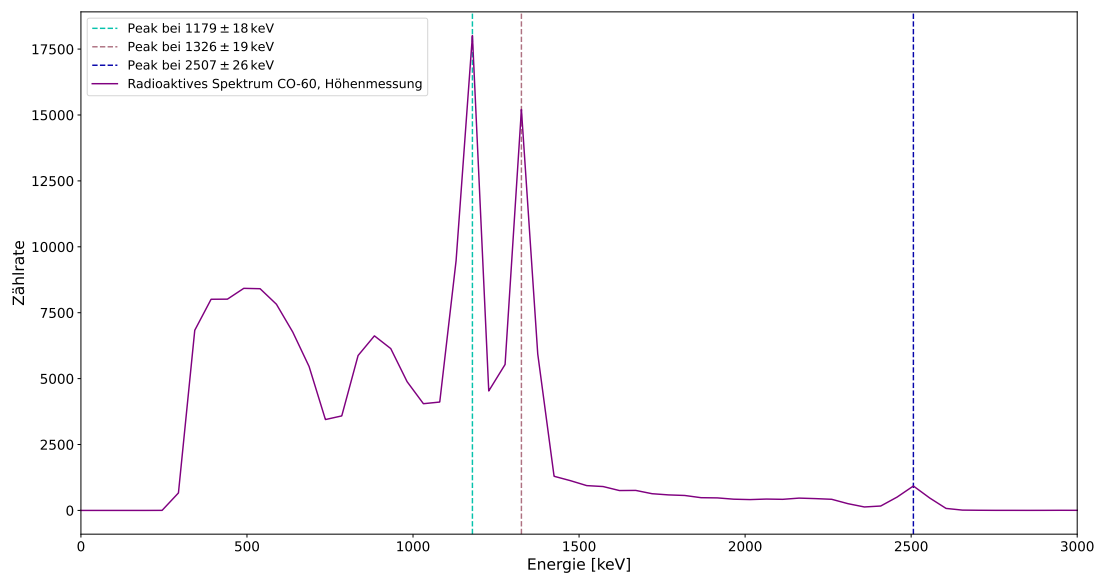


Abbildung 11: Radioaktives Spektrum vom Co-60, zur Kalibrierung

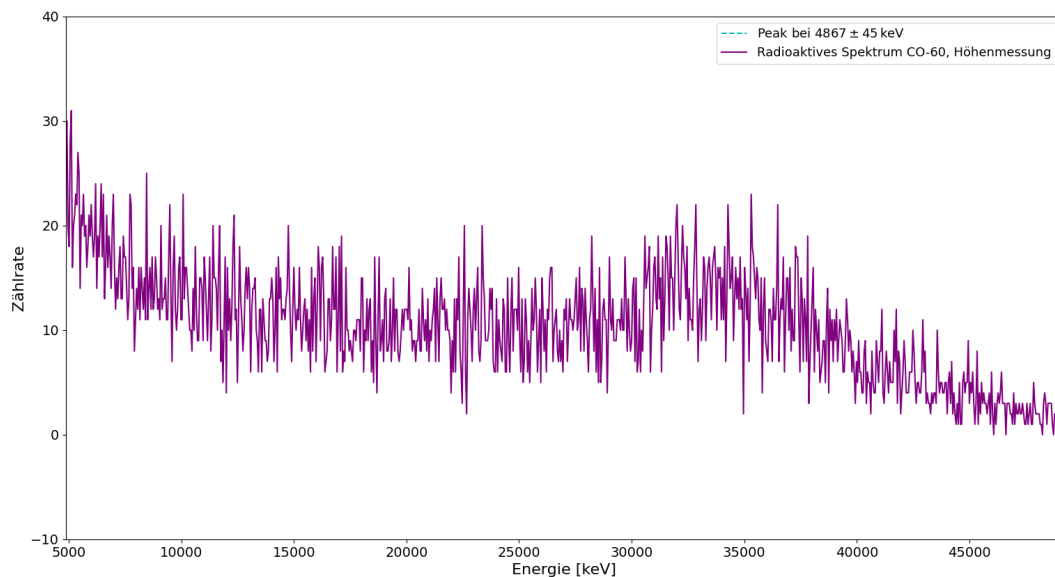


Abbildung 12: Radioaktives Spektrum der Höhenstrahlung

Anschließend wurde das radioaktive Spektrum der Höhenstrahlung gemessen. Das Spektrum ist in Abbildung (12) zu sehen. Summiert man alle gezählten Quanten ab einem Channel von 100, da in den niedrigeren Channels sonst hauptsächlich die Strahlung radioaktiver Nukleide auftritt, und wichtet sie mit ihrer zugehörigen Energie, so erhält man eine in den 2h gesamte absorbierte Energie E_{ges} von

$$E_{ges} = (223,49 \pm 0,08) \text{ GeV} \quad (26)$$

und hochgerechnet auf ein Jahr:

$$E_{ges,Jahr} = (978,89 \pm 0,33) \text{ TeV} \quad (27)$$

Unter der Annahme, dass ein Kilogramm Detektor gleich viel Absorbiert wie ein Kilogramm Mensch, ergibt sich damit eine Strahlendosis von

$$\frac{E_{ges,Jahr}}{m_{Detektor}} \approx 0,12 \frac{\text{mSv}}{\text{a}} \quad (28)$$

5 Fazit

Das Ziel der Versuche war die radioaktiven Strahlungs-Spektren verschiedener Proben zu untersuchen. Radioaktive Strahlungen befinden sich überall um uns herum. Es ist also nicht nur interessant diese zu untersuchen sondern auch wichtig.

Die Untergrundstrahlung im Labor ist wichtig zu messen, um die tatsächlichen Werte von Messproben zu bestimmen. Die Strahlung, die von Gegenständen ausgeht, mit denen Menschen interagieren ist wichtig zu messen, um zu verhindern, dass Menschen ernsthafte gesundheitliche Schäden erleiden.

Deswegen sind Versuche wie dieser weiterhin relevant, auch wenn sie schon seit langer Zeit von Wissenschaftlern durchgeführt wurden.

6 Anhang

6.1 Zusätzliche Überlegungen

6.1.1 Die Einheit keV

keV steht für Kilo-Elektronen-Volt. 1eV entspricht der Energie, die ein Elektron beim durchlaufen einer Beschleunigungsspannung von 1V gewinnt. Um Werte in dieser Einheit in Joule umzurechnen multipliziert man diese mit der Elementarladung $e = 1.602176634C$. Zum Beispiel gilt für ein kosmisches Teilchen mit der Energie $E = 4 \cdot 10^{12} \text{ GeV}$

$$E = 4 \cdot 10^{12} \text{ GeV} = 640,87 \mu\text{J} \quad (29)$$

Dies ist im Vergleich mit den Energien, mit denen Menschen interagieren winzig. Zum Beispiel gewinnt ein Mensch (70kg) der vom 10m Brett in ein Schwimmbecken springt schon eine Energie von $E = 6,87 \text{ kJ}$.^[2]

6.1.2 Wieso haben die im Versuch beobachteten Peaks eine Breite? Warum werden nicht alle Quanten einer ganz bestimmten Energie in einem einzigen Kanal gezählt? Was versteht man unter dem Begriff Halbwertsbreite?

Die Peaks haben eine Breite aufgrund der Auflösung des Detektors. Dieser hat bei der Bestimmung der Energie der γ -Quanten eine Unsicherheit, wodurch nicht alle γ -Quanten in den selben Kanal gezählt werden.

Die Halbwertsbreite ist die Breite einer Kurve, die ein Maximum besitzt auf der Höhe, die der Hälfte des Funktionswerts des Maximums entspricht.

6.1.3 Aus welchen Peaks setzt sich das Na^{22} -Spektrum zusammen

In den meisten Fällen zerfällt ein Na^{22} -Atom unter Emission eines β^+ -Teilchens der Energie 546,7 keV zu einem Ne^{22*} im angeregten Zustand, welches dann in den Grundzustand übergeht und dabei ein γ -Quant der Energie 1247,5 keV aussendet.

Seltener geht das Na^{22} -Atom direkt in ein Ne^{22} Atom im Grundzustand über. Dabei wird ein β -Teilchen der Energie 1821,2 frei.

Der Peak bei 511 keV entsteht durch zusammentreffen des Positrons mit einem Elektron, wobei ein γ -Quant der entsprechenden Energie frei wird.^[4]

6.1.4 Wieso ist in den Spektren eine Linie bei 77 keV zu sehen?

Die Charakteristische-Röntgenenergie von Blei liegt bei etwa 72-84 keV. In diesem Bereich können photoelektrische Effekte auftreten, wodurch das Blei Röntgenstrahlung dieser Energie aussendet.^[5]

Strahlung	Abschirmung durch Abstand	Abschirmung durch Material
α	ca. 10 cm	Papier
β	ca. 3m	Aluminiumblech
γ		5cm dickes Blei
Kosmisch	Nicht vollständig Abschirmbar	

Tabelle 6: Abschirmung von Strahlung

6.1.5 Was bedeutet die statistische Unsicherheit beim Zählen der Zerfälle für hohe Zählraten?

Die statistische Unsicherheit ist $\Delta n = \sqrt{n}$, ist also Proportional zu Wurzel der Anzahl der Zerfälle. Die Steigung der Wurzelfunktion ist $\frac{1}{\sqrt{x}}$. Diese wird für hohe Zählraten kleiner, das heißt die Unsicherheit steigt langsamer als die Anzahl der Messungen. Somit wird die Messung genauer je mehr Zerfälle gezählt werden.

6.1.6 Warum steigt die Aktivität bei einem frisch gereinigten Präperat erst an?

Wenn das Material frisch gereinigt wurde sind kaum Tochterkerne vorhanden. Also werden diese erzeugt, wobei die Aktivität ansteigt. Die Tochterkerne können ihrerseits wieder zerfallen. Die Aktivität steigt solange an, bis ausreichend Tochterkerne vorhanden sind, die wiederum zerfallen und dann wieder von neuen ersetzt werden, die durch den Zerfall des Präperats entstehen.

6.1.7 Wie können die verschiedenen Strahlungsarten abgeschirmt werden?

Siehe Tabelle (6)

6.1.8 Warum sieht man bei Th Linien bei 2615 keV, 2104 keV und 1593 keV?

Die Linie bei 2615 stammt von Tl-208, einem Zerfallsprodukt von Thorium.^[1] Die anderen Linien sind single und double escape Peaks von Tl-208. Wie in Tabelle (4) zu sehen ist die Linie bei 2104 keV ein single escape Peak, es hat 511 keV weniger Energie als die Linie von Th-208, es ist also eine Energie entsprechend der Ruheenergie eines Elektrons verlorengegangen. Bei der 1593 keV Linie ist die doppelte Energie verloren gegangen, es liegt hier also ein double escape peak vor.

6.1.9 Was passiert mit einem γ -Quant im NaI-Szintillator?

- γ -Quant trifft auf den Detektor auf und gibt seine Energie ab
- Aufgrund der Energie werden Atome im Kristall angeregt
- Die Atome gehen unter Abgabe von Energie wieder in ihren Grundzustand zurück und senden dabei Lichtblitze aus
- Das Licht wird mit einem Photomultiplier nachgewiesen

- mit einem Computer werden die Lichtblitze abhängig von der Energie Channels zugeordnet und gezählt.

7 Quellen

1. Anleitung Versuch RAD (Stand: 17. April 2023):
<https://www.ph.tum.de/academics/org/labs/ap/ap3/RAD.pdf>
2. Elektronenvolt (Stand: 17. April 2023) <https://de.wikipedia.org/wiki/Elektronenvolt>
3. Halbwertsbreite (Stand: 17. April 2023) <https://de.wikipedia.org/wiki/Halbwertsbreite>
4. Zerfall von N-22 (Stand: 17. April 2023) <https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-fortfuehrung/aufgabe/beta-plus-zerfall-von-natrium-22>
5. Röntgenenergie Blei (Stand: 17. April 2023) <https://www.radiation-dosimetry.org/de/was-ist-rontgenpea>