

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG
PHYSIKLABOR FÜR ANFÄNGER*INNEN, TEIL 2
WINTERSEMESTER 2021/22

VERSUCH 90 AM 04.04.2022

Gammapektroskopie

Gruppe 211:
05.04.2022

Assistent:

Inhaltsverzeichnis

1 Ziel des Versuchs	2
2 Aufbau und Durchführung	2
3 Auswertung und Fehleranalyse	3
3.1 Kalibrierung des Gammaskpektrometers	3
3.2 Untersuchung verschiedener Proben	5
3.2.1 Pechblende	6
3.2.2 Perlen und Steine	7
3.2.3 Radium-226	8
4 Diskussion der Ergebnisse	10
4.1 Identifikation der unbekanntes Nuklide	10
4.2 Zusammenstellung der Ergebnisse	11
4.3 Fehlerdiskussion	11
4.4 Verbesserte Messmethoden	12
5 Literatur	13
6 Anhang	14
6.1 Tabellen und Grafiken	14
6.2 Laborbuch	15
6.3 Tabellenverzeichnis	16
6.4 Abbildungsverzeichnis	16

1 Ziel des Versuchs

In den folgenden Versuchsteilen sollen radioaktive Stoffe mithilfe der Gammaskopie untersucht werden. Hierfür wird zunächst der verwendete Szintillationszähler mit den bekannten Strahlern Natrium-22, Cobalt-60 und Cäsium-137 kalibriert. Anschließend werden bei drei unbekannten Proben die zerfallenden Nuklide ermittelt.

2 Aufbau und Durchführung

Um die oben genannten Ziele zu erreichen, wird der in [Abbildung 1](#) dargestellte Versuchsaufbau verwendet. Mithilfe der Software „PRA“ können die Anzahl an Anregungen n mit ihren Kanälen k ausgelesen werden. Die Kanalgröße wird dabei auf 0,2er Schritte eingestellt. Die Einheit ist hierbei unbekannt. Außerdem wird die Messdauer t gemessen.

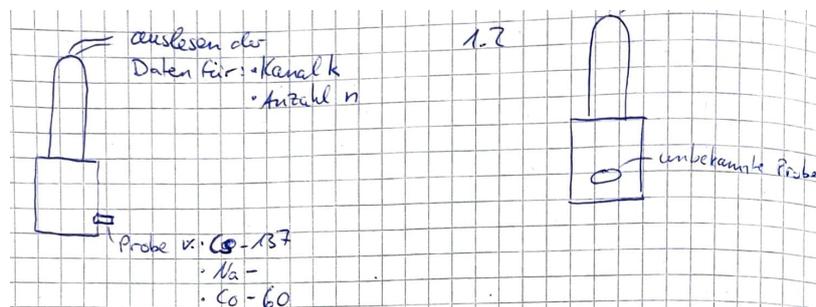


Abb. 1: Skizze des Versuchsaufbaus aus dem Laborbuch ([Abbildung 10](#)) mit allen relevanten Größen für die Messung.

Es werden zunächst die Anregungen n in einem Kanal k für die Strahler Na-22, Co-60 und Cs-137 gemessen. Die Probe wird hierfür in den Behälter des Szintillationszählers, wie in [Abbildung 1](#) links zu sehen, gesteckt.

Anschließend werden drei weitere Proben, in denen nicht bekannte Nuklide zerfallen auf die gleiche Weise untersucht. Es werden hierfür die in [Abbildung 2](#) abgebildete Pechblendenprobe und ebenfalls abgebildete Perlen und Steine, sowie Radium-226 ausgewählt.



(a) Pechblende

(b) Perlen und Steine

Abb. 2: Abgebildet sind die verwendeten Proben Pechblende, sowie die außerdem verwendeten Perlen und Steine aus [1].

Zudem wird eine Messung der Untergrundstrahlung im Szintillationsbehälter ohne Probe durchgeführt. Die Unsicherheit der Anzahl n an Anregungen wird mit \sqrt{n} abgeschätzt.

3 Auswertung und Fehleranalyse

3.1 Kalibrierung des Gammaskpektrometers

Um das Gammaskpektrometer für unbekannte Proben nutzen zu können, muss es zunächst anhand bekannter Proben kalibriert werden. Dazu werden die Kalibrierquellen Na-22, Co-60 und Cs-137 verwendet, da bei diesen Strahlern markante Peaks im Spektrum auftreten, bei denen die zugehörige Zerfallsenergie bekannt ist. Als erstes wird jedoch ein Untergrundspektrum aufgenommen, sodass die Verfälschung der Kalibrationsspektren durch Untergrundstrahlung korrigiert werden kann. Das so aufgenommene Untergrundspektrum ist in [Abbildung 3a](#) zu finden.

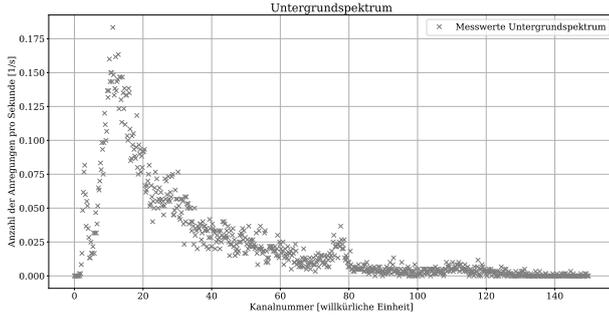
Um nun die korrigierten Spektren zu erhalten, wird zunächst sowohl aus den Messdaten n_U für das Untergrundspektrum, als auch aus den Messdaten n_i für die drei Proben, die Anzahl an Anregungen pro Sekunde berechnet und dann jeweils das Untergrundspektrum abgezogen. Dazu müssen die jeweiligen Anregungen durch die Gesamtdauern t der Messreihen geteilt werden. Diese betragen $t_U = 600,0\text{s}$ für die Untergrundstrahlung, $t_{\text{Na-22}} = 352,0\text{s}$ für Na-22, $t_{\text{Co-60}} = 300,0\text{s}$ für Co-60 und $t_{\text{Cs-137}} = 435,5\text{s}$ für Cs-137. Die Fehlerfortpflanzung wird mit Formeln aus [\[2\]](#) berechnet:

$$N_i = \frac{n_i}{t_i} - \frac{n_U}{t_U},$$

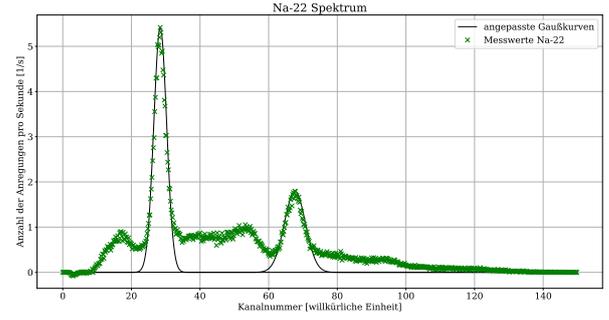
$$\Delta N_i = \sqrt{\left(\frac{\Delta n_i}{t_i}\right)^2 + \left(-\frac{\Delta n_U}{t_U}\right)^2}. \quad (1)$$

Um den Kanalnummern k nun Energien E zuordnen zu können, werden zunächst die Kanalnummern prägnanter Peaks in den Spektren bestimmt. Mithilfe numerischer Minimierung mit Formeln aus [\[3\]](#) kann dazu eine nicht normierte Gauß-Kurve mit den freien Parametern Mittelwert μ und Standardabweichung σ an die Werte für die Peaks angepasst werden. Es werden dabei immer Bereiche für die Anpassung gewählt, in denen der Peak deutlich zu erkennen ist und kein Plateau oder erneuter Anstieg beobachtet wird. Die so angepassten Gauß-Kurven sind zusammen mit den jeweiligen Kalibrationsspektren in [Abbildung 3b](#) bis [Abbildung 3d](#) zu sehen und liefern Werte für die Kanalnummern der Peaks:

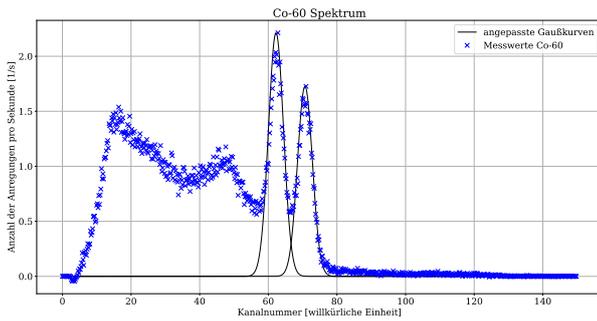
$$k_{\text{Peak}} = \mu \pm \sigma. \quad (2)$$



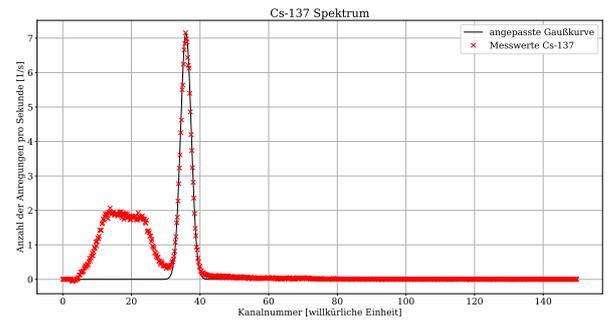
(a) Untergrundspektrum



(b) Spektrum von Na-22 mit Gaußfunktion



(c) Spektrum von Co-60 mit Gaußfunktion



(d) Spektrum von Cs-137 mit Gaußfunktion

Abb. 3: Aufgetragen sind die Anzahl an Anregungen pro Sekunde N in s^{-1} gegen die Kanalnummern k in willkürlichen Einheiten. Es sind die Spektren der Messungen der Untergrundstrahlung in grau, von Na-22 in grün, von Co-60 in blau und von Cs-137 in rot dargestellt. Außerdem sind die Anpassungen von nicht normierten Gaußkurven an die vorkommenden Peaks eingezeichnet.

Die so bestimmten Kanalnummern, die in [Tabelle 1](#) zusammengestellt sind, können nun bekannten Übergängen bei der Strahlung der Proben zugeordnet werden. Dabei treten bei Cobalt-60 und Cäsium-137 die erwarteten Peaks auf, denen die in [\[1\]](#) beschriebenen Energien zugeordnet werden können. Bei Natrium-22 tritt jedoch ein zusätzlicher, intensiverer Peak vor dem eigentlichen in [\[1\]](#) beschriebenen Übergangspeak auf. Dieser entsteht durch Paarvernichtung eines Positrons mit einem Elektron. Ihm kann eine Energie von 511 keV zugeordnet werden [\[4\]](#). Es ergeben sich dadurch die in [Tabelle 1](#) zusammengestellten Zuordnungen von Kanalnummern zu Energien markanter Stellen im Spektrum.

Tab. 1: Aufgetragen sind die Kanalnummern k der Peaks zusammen mit den zugeordneten Energien der Peaks in keV.

	Kanalnummer k	Energie des Peaks
1. Peak Na-22	$28,4 \pm 1,9$	511 keV
2. Peak Na-22	68 ± 3	1277 keV
1. Peak Co-60	62 ± 2	1172 keV
2. Peak Co-60	71 ± 2	1333 keV
1. Peak Cs-137	$35,9 \pm 1,6$	662 keV

Um nun eine Möglichkeit zu schaffen, Kanalnummern in Energien umzurechnen und umgekehrt, kann aus den so bestimmten Wertepaaren in [Tabelle 1](#) eine lineare Regression [\[3\]](#) durchge-

führt werden. Um dabei eine gewichtete lineare Regression durchführen zu können, werden die Kanalnummern k gegen die Energien E aufgetragen, da nur Fehler auf k bekannt sind und ausschließlich diese durch das in [3] beschriebene Vorgehen mit in die Regression einfließen. Es soll folgende Gerade an die Wertepaare angepasst werden:

$$k = a + b \cdot E. \quad (3)$$

Die gewichtete lineare Regression der Werte ist zusammen mit den k -Fehlern und einem 1σ -Konfidenzband in [Abbildung 4](#) dargestellt.

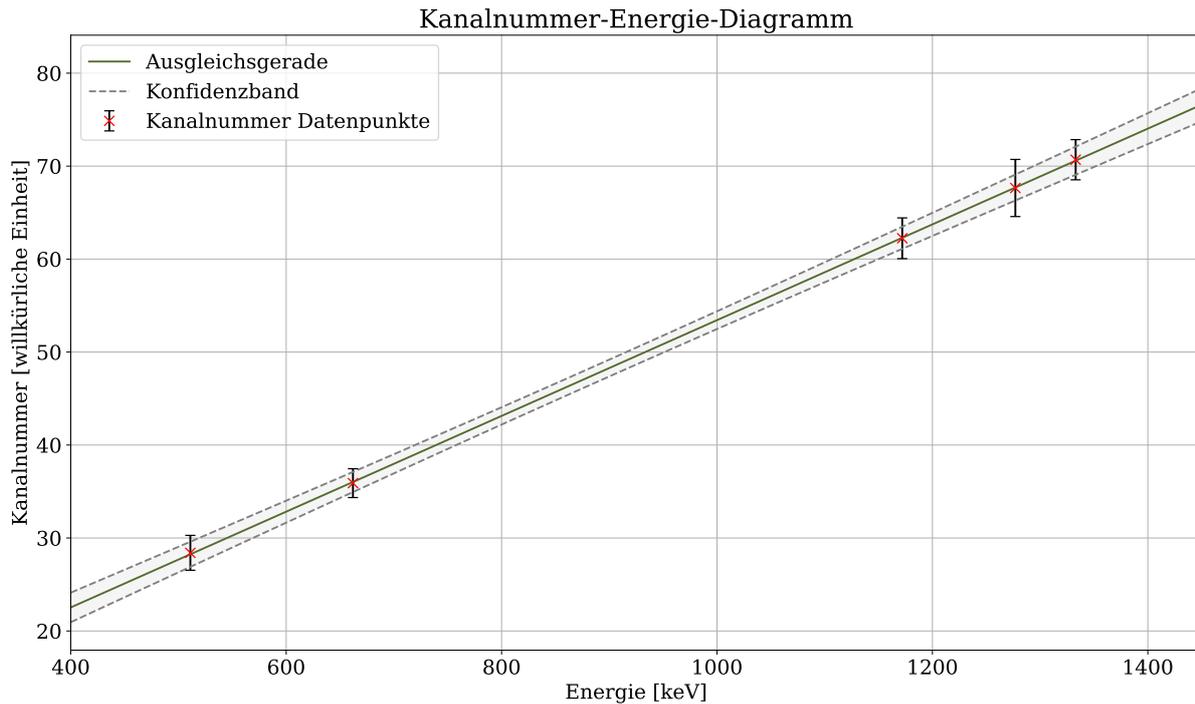


Abb. 4: Aufgetragen sind die aus der Kalibrationsmessung bestimmten Kanalnummern der Peaks in willkürlichen Einheiten gegen die zugeordneten Energien in keV aus [1]. Zusätzlich ist eine gewichtete lineare Regression mit einem 1σ -Konfidenzband dargestellt.

Für die Werte von a und b ergibt sich aus der linearen Regression [3]:

$$a = 2 \pm 3,$$

$$b = (0,051 \pm 0,003) \text{ keV}^{-1}.$$

Der mit Formeln aus [3] berechnete Korrelationskoeffizient von $-0,93$ legt nahe, dass bei den verwendeten Werten für größere y -Achsenabschnitte a kleinere Steigungen b verwendet werden müssen, um eine sinnvolle Regression zu erhalten.

3.2 Untersuchung verschiedener Proben

Da nun durch die Kalibrierung die Umrechnung von Kanälen k in Energien E möglich ist, kann bei unbekanntem Strahlern ein Peak einer bestimmten Energie und damit dem Zerfall eines

bestimmten Nuklids zugeordnet werden. Dabei wird folgender Zusammenhang für die Energie und den durch die Kalibrierung entstehenden systematischen Fehler verwendet:

$$E = \frac{(k - a)}{b},$$

$$\Delta_{\text{syst}} E = \sqrt{\left(-\frac{\Delta a}{b}\right)^2 + \left(-\frac{(k - a) \cdot \Delta b}{b^2}\right)^2}. \quad (4)$$

Die systematische Unsicherheit wird dabei durch Fehlerfortpflanzung mit Formeln aus [2] berechnet. Hinzu kommt noch ein statistischer Fehler, der sich nicht aus der Kalibrierung, sondern aus der Unsicherheit auf die bestimmte Kanalnummer ergibt:

$$\Delta_{\text{stat}} E = \frac{\Delta k}{b}. \quad (5)$$

3.2.1 Pechblende

Um Nuklide in der Pechblende identifizieren zu können, müssen zunächst die Energien der Übergänge und dazu erneut die Peaks im aufgenommenen Spektrum bestimmt werden. Dazu wird mit [Gleichung 1](#) zunächst das Untergrundspektrum abgezogen und anschließend werden durch numerische Minimierung erneut Gauß-Kurven an die markantesten Peaks angepasst. Dabei werden nur die drei schärfsten Peaks verwendet, da aufgrund der geringeren Strahlung und des damit verbundenen höheren Rauschens die Peaks insgesamt deutlich schlechter erkennbar sind. Das Spektrum mit angepassten Gauß-Kurven ist in [Abbildung 5](#) zu sehen.

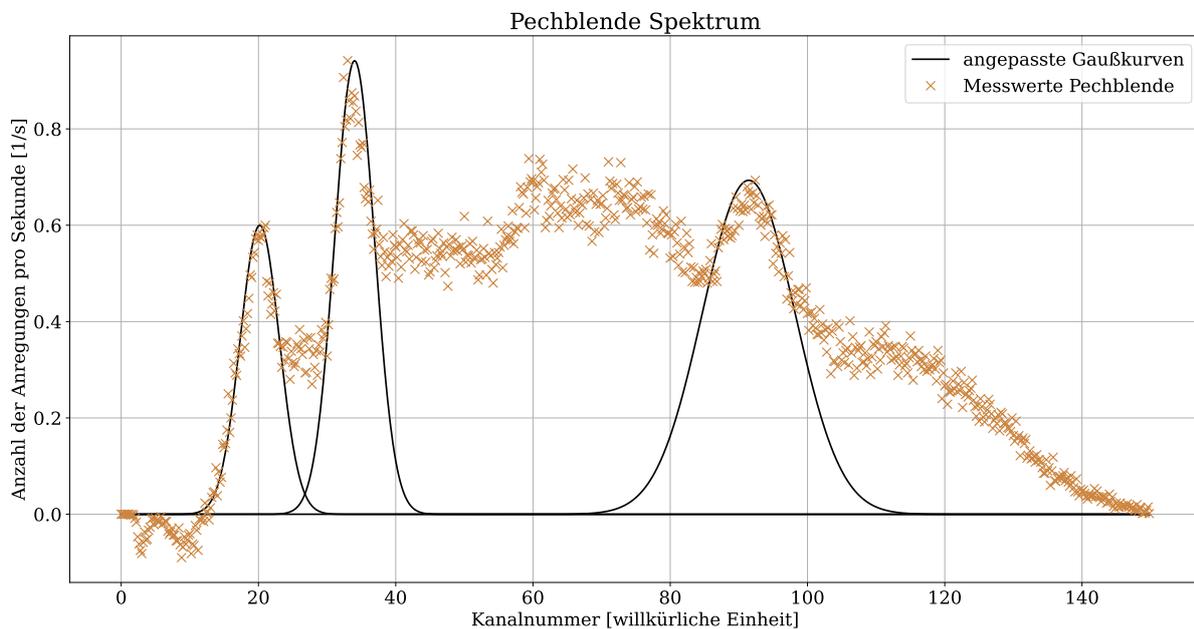


Abb. 5: Aufgetragen ist die Anzahl der Anregungen pro Sekunde N in s^{-1} gegen die Kanalnummer k in willkürlichen Einheiten für die Pechblende. Zusätzlich sind angepasste Gauß-Funktionen an die gut erkennbaren Peaks dargestellt.

Es können dabei die folgenden Kanalnummern erfasst werden:

$$k_{1,\text{Pech}} = 20 \pm 3,$$

$$k_{2,\text{Pech}} = 34 \pm 3,$$

$$k_{3,\text{Pech}} = 91 \pm 7.$$

Mithilfe von [Gleichung 4](#) und [Gleichung 5](#) kann nun eine entsprechende Übergangsenergie bestimmt werden. Es werden folgende Werte ermittelt, wobei zunächst die statistische und danach die systematische Unsicherheit angegeben wird:

$$E_{1,\text{Pech}} = (350 \pm 60 \pm 50) \text{ keV},$$

$$E_{2,\text{Pech}} = (620 \pm 60 \pm 60) \text{ keV},$$

$$E_{3,\text{Pech}} = (1740 \pm 130 \pm 100) \text{ keV}.$$

Ein Vergleich mit bekannten Nukliden und Übergangsenergien erfolgt in [Unterabschnitt 4.1](#).

3.2.2 Perlen und Steine

Auch bei den Perlen und Steinen soll nun analog vorgegangen werden. Es wird zunächst das Untergrundspektrum durch [Gleichung 1](#) abgezogen und anschließend nach markanten Peaks gesucht. Dabei ist zu bemerken, dass aufgrund der noch viel geringeren Strahlung dieser Probe fast ausschließlich Rauschen und zufällige Streuung auftritt. Dass auch negative Werte auftreten, liegt daran, dass an manchen Stellen die Strahlung geringer als die Untergrundstrahlung ist. Auf die extreme Ungenauigkeit dieser Messreihe soll in der Fehlerdiskussion näher eingegangen werden. Trotzdem ist für kleine Kanalnummern eine etwas höhere Strahlung messbar, an die in [Abbildung 6](#) erneut eine Gauß-Kurve angepasst werden soll.

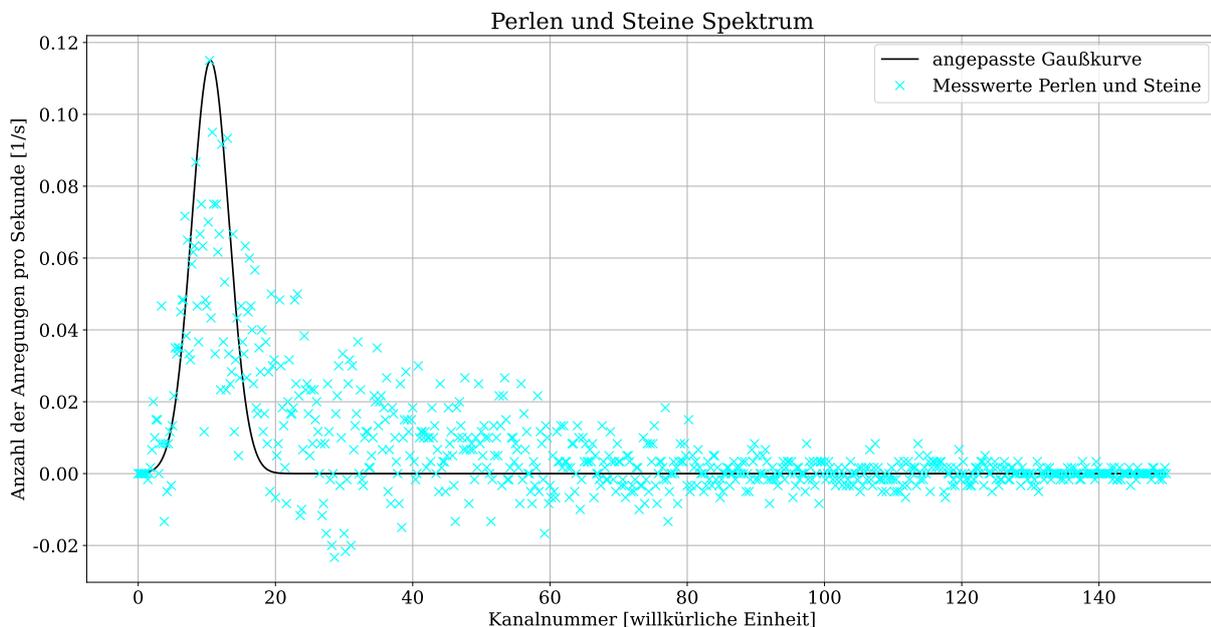


Abb. 6: Für die Perlen und Steine wird analog zur Pechblende die Anzahl der Anregungen pro Sekunde N in s^{-1} gegen die Kanalnummer k in willkürlichen Einheiten aufgetragen. Erneut ist eine angepasste Gauß-Funktion an den Peak dargestellt.

Auch wenn die angepasste Gauß-Kurve die Messwerte nur schlecht beschreibt, kann folgende Kanalnummer und damit folgende Energie aus [Gleichung 4](#) und [Gleichung 5](#) bestimmt werden:

$$k_{\text{Perlen}} = 11 \pm 3,$$

$$E_{\text{Perlen}} = (170 \pm 50 \pm 50) \text{ keV}.$$

Auch diese Übergangsenergie soll in [Unterabschnitt 4.1](#) mit denen möglicher Nuklide verglichen werden. Auf die Probleme bei der Auswertung dieser Probe wird in der Fehlerdiskussion eingegangen.

3.2.3 Radium-226

Bei der letzten Probe – Ra-226 – kann aufgrund der deutlich höheren Strahlung nun noch ein deutlich klareres Spektrum ausgewertet werden. Nach Abzug des Untergrundspektrums ([Gleichung 1](#)) ist eine ganze Reihe deutlicher Peaks zu erkennen, wovon jedoch einige sehr eng beieinander liegen und andere relativ flach ausfallen. Auch hierauf soll in der Fehlerdiskussion und bei den verbesserten Messmethoden eingegangen werden. Es werden deshalb die vier deutlichsten Peaks ausgewählt und erneut durch Gauß-Kurven genähert. In [Abbildung 7](#) ist das Spektrum zusammen mit den Gauß-Anpassungen aufgetragen.

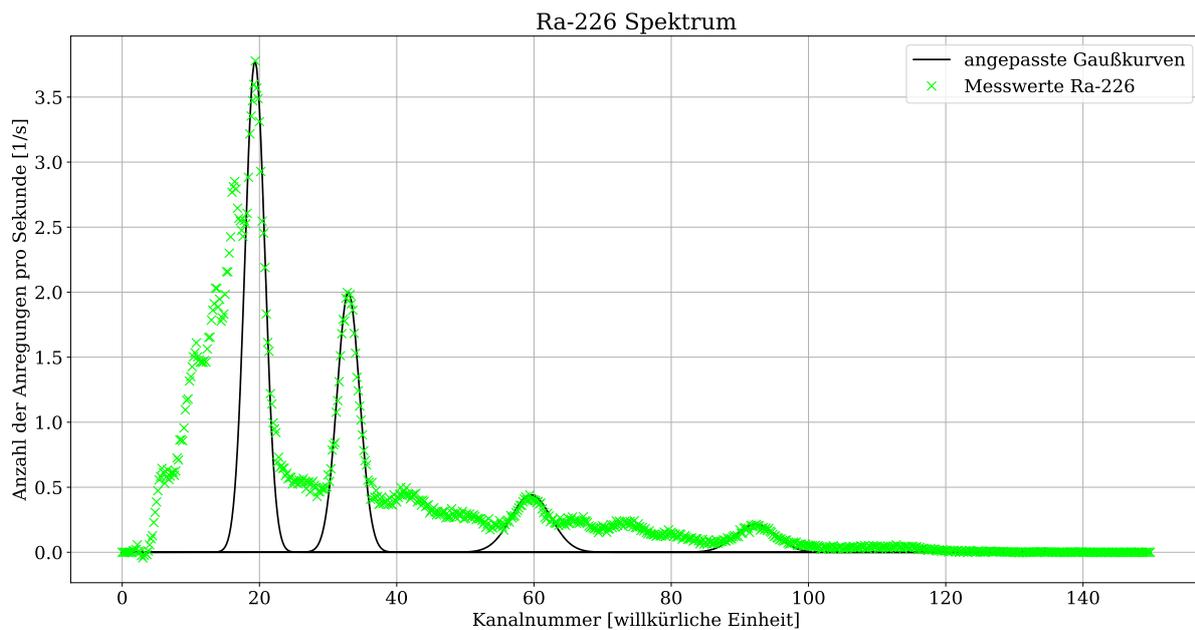


Abb. 7: Für Ra-226 werden analog die Anzahl der Anregungen pro Sekunde N in s^{-1} gegen die Kanalnummer k in willkürlichen Einheiten sowie angepasste Gauß-Funktionen an die Peaks dargestellt.

Für die Peaks können aus Mittelwert und Standardabweichung der Gauß-Kurven folgende Kanalnummern bestimmt werden:

$$k_{1,\text{Ra-226}} = 19,3 \pm 1,4,$$

$$k_{2,\text{Ra-226}} = 33,0 \pm 1,7,$$

$$k_{3,\text{Ra-226}} = 60 \pm 3,$$

$$k_{4,\text{Ra-226}} = 92 \pm 3.$$

Es ergeben sich somit folgende Energien aus [Gleichung 4](#) und [Gleichung 5](#), die im Folgenden in [Unterabschnitt 4.1](#) mit bekannten Übergangsenergien verglichen werden sollen:

$$E_{1,\text{Ra-226}} = (340 \pm 30 \pm 50) \text{ keV},$$

$$E_{2,\text{Ra-226}} = (600 \pm 30 \pm 60) \text{ keV},$$

$$E_{3,\text{Ra-226}} = (1120 \pm 60 \pm 80) \text{ keV},$$

$$E_{4,\text{Ra-226}} = (1750 \pm 60 \pm 100) \text{ keV}.$$

4 Diskussion der Ergebnisse

4.1 Identifikation der unbekannt Nuklide

Mit den ermittelten Werten für die Hauptenergien E der Gammastrahlung der unbekannt Proben ist es möglich zu beurteilen, welche Nuklide bei diesen Gammazerfällen beteiligt sein können. Insbesondere soll überprüft werden, ob Uran-238 oder Th-232 nachgewiesen werden können. Hierzu werden die am besten mit den ermittelten Werten verträglichen Zerfallsenergien aus [5] betrachtet. Für die Beurteilung der Verträglichkeit wird mit Formeln aus [2] ein t -Wert berechnet, wobei ein t -Wert von unter zwei auf eine gute, ein t -Wert von über zwei auf eine schlechte Verträglichkeit hindeutet. Die am besten verträglichen, so in Frage kommenden Nuklide sind in [Tabelle 2](#) mit ihren t -Werten aufgetragen. Zudem sind die aus den jeweiligen Peaks bestimmten Energien E zu sehen.

Tab. 2: Aufgetragen sind die aus den Peaks der jeweiligen Proben bestimmten Energien E in keV mit dem statistischen und systematischen Fehler. Außerdem ist das bestverträgliche Nuklid mit dem t -Wert sowie weitere mögliche Nuklide mit den jeweiligen t -Werten aufgeführt.

Probe	bestverträgliches Nuklid	t -Wert bestverträgliches Nuklid	weitere Nuklide	t -Werte weitere Nuklide
Pechblende 1. Peak: $E = (350 \pm 60 \pm 50)$ keV	Pb-214: $E = 351$ keV	0,03	Ac-228: $E = 338$ keV Pb-214: $E = 295$ keV	0,15 0,5
Pechblende 2. Peak: $E = (620 \pm 60 \pm 60)$ keV	Bi-214: $E = 609$ keV	0,12	Tl-208: $E = 583$ keV Tl-208: $E = 510$ keV	0,3 1,0
Pechblende 3. Peak: $E = (1740 \pm 130 \pm 100)$ keV	Pa-234m: $E = 1737$ keV	0,004	Bi-214: $E = 1729$ keV Bi-214: $E = 1764$ keV Pa-234m: $E = 1831$ keV	0,04 0,11 0,4
Perlen und Steine Peak: $E = (170 \pm 50 \pm 50)$ keV	Pb-214: $E = 186$ keV	0,18	U-234: $E = 120$ keV U-236: $E = 112$ keV Pb-212: $E = 238$ keV Pb-214: $E = 241$ keV	0,5 0,5 0,7 0,7
Ra-226 1. Peak: $E = (340 \pm 30 \pm 50)$ keV	Ac-228: $E = 338$ keV	0,0014	Pb-214: $E = 351$ keV Pb-214: $E = 295$ keV	0,16 0,53
Ra-226 2. Peak: $E = (600 \pm 30 \pm 60)$ keV	Bi-214: $E = 609$ keV	0,07	Tl-208: $E = 583$ keV Tl-208: $E = 510$ keV	0,2 1,0
Ra-226 3. Peak: $E = (1120 \pm 60 \pm 80)$ keV	Bi-214: $E = 1120$ keV	0,006	Bi-214: $E = 1238$ keV Pa-234m: $E = 1001$ keV	0,9 0,9
Ra-226 4. Peak: $E = (1750 \pm 60 \pm 100)$ keV	Bi-214: $E = 1764$ keV	0,06	Pa-234m: $E = 1737$ keV Bi-214: $E = 1729$ keV Pa-234m: $E = 1831$ keV Bi-214: $E = 1847$ keV	0,11 0,16 0,5 0,6

Pechblende ist ein Uranerz [4]. Deswegen wird die in [Abbildung 8](#) abgebildete Zerfallskette von Uran-238 betrachtet. Die bei der Messung des Pechblendenspektrums bestverträglichen Zerfälle für alle Peaks kommen beim Zerfall von Uran-238 vor. Auch die in der Thorium-232 Zerfallsreihe vorkommenden Zerfälle von Ac-228 und Tl-208, die ebenfalls in [Abbildung 8](#) zu sehen sind, sind mit dem ersten und zweiten Peak verträglich. Da jedoch keiner der anderen erwarteten Zerfälle von Th-232 vorkommt und die hieraus erwarteten Energien etwas schlechter verträglich sind, ist es unwahrscheinlicher, dass es einen Thorium-232-Anteil in der Pechblende gibt.

Bei der Messung der Perlen und Steine ist der erhaltene Peak sehr unscharf und es wird nur ein kleiner Unterschied in der Zählrate zur Untergrundstrahlung festgestellt, deswegen ist es hier noch schwieriger zu beurteilen, ob und wenn ja wie die Perlen und Steine strahlen. Dennoch lässt sich vermuten, dass ein Zerfall eines Blei- oder Uranisotopes vorliegt.

Da Radium-226 in der Zerfallsreihe von Uran-238 vorkommt, kann seine Zerfallsreihe im gleichen Diagramm in [Abbildung 8](#) betrachtet werden. Der bei Peak zwei bis vier bestverträgliche Zerfall ist der Zerfall von Bi-214, der in der erwarteten Zerfallsreihe vorkommt. Der beim ersten Peak sehr gut verträgliche Ac-228-Zerfall wird bei Radium-226 allerdings nicht erwartet. Die auch gut verträglichen Zerfälle von Pb-214 kommen allerdings in der Zerfallsreihe von Radium-226

vor. Es ist außerdem zu bemerken, dass der erste Peak auf der linken Seite stufenweise ansteigt und hier, wie auch im gesamten Spektrum, weitere uneindeutigere Maxima zu vermuten sind. Deswegen werden alle beim Zerfall von Pb-214 und Bi-214 zu vermutenden Zerfallsenergien in Kanäle umgerechnet und in [Abbildung 9](#) im Anhang in das Ra-226-Spektrum mit eingezeichnet. Die Zerfälle von Pb-214 und Bi-214 sind die dominierenden Gammazerfälle von Radium-226. Es fällt auf, dass alle eingezeichneten Linien ungefähr auf die Stellen fallen, bei denen weitere Peaks in der Messreihe zu vermuten sind. Dabei sind allerdings alle Linien leicht nach rechts von den Peaks verschoben. Dies könnte von einem systematischen Fehler bei der Kalibrierung herrühren. Beachtet man dies, so ist zu erklären, weshalb vermutlich fälschlicherweise eine sehr gute Verträglichkeit des Ac-228-Zerfalls angenommen wird. Korrigiert man die ermittelte Energie etwas nach oben, so ist Pb-214 besser verträglich. Es kann also vermutet werden, dass bei der Ra-226-Probe tatsächlich ein Zerfall von Ra-226 stattfindet.

Bei der Ermittlung aller Zerfallsnuklide, muss allerdings beachtet werden, dass aufgrund der hohen Fehler auf die Energien im Spektrum sehr viele Zerfälle in Frage kommen und somit keine verlässliche Aussage über die tatsächlich auftretenden Nuklide getroffen werden kann. Hinzu kommt, dass die Liste an Zerfallsenergien in [\[5\]](#) nicht vollständig ist und es deshalb vorkommende, nicht betrachtete Zerfälle geben kann. Auf Methoden, die zu einer höheren Aussagekraft führen können, wird in [Unterabschnitt 4.4](#) eingegangen.

4.2 Zusammenstellung der Ergebnisse

Im ersten Versuchsteil konnte das Gammaspektrometer erfolgreich anhand der drei Proben Na-22, Co-60 und Cs-137 kalibriert werden und anhand einer linearen Regression ein Gesetz zur Umrechnung der Kanalnummer in eine Energie ermittelt werden:

$$E = \frac{(k - a)}{b},$$

mit $a = 2 \pm 3,$

$$b = (0,051 \pm 0,003) \text{ keV}^{-1}.$$

Anhand der Positionen der Peaks dreier weiterer Proben konnte im Anschluss daran für eine begrenzte Anzahl an Peaks jeweils die zugehörige Übergangsenergie ermittelt werden. Diese sind zusammen mit möglichen zugehörigen Nukliden in [Tabelle 2](#) zusammengestellt.

Für die Pechblenden-Probe konnten dabei mehrere Nuklide aus der Zerfallsreihe von Uran-238 nachgewiesen werden, wobei durch die hohen Unsicherheiten auf die Bestimmung der Peaks eine eindeutige Zuordnung fast nicht möglich ist. Vor allem bei den Perlen und Steinen lässt sich daher keine Aussage über die vorhandenen Nuklide treffen. Für Radium-226 konnten jedoch eindeutig die beiden Nuklide Bi-214 und Pb-214 nachgewiesen werden, ein Vergleich mit den erwarteten Peaks der Radium-226-Zerfallsreihe liefert eine ziemlich gute Übereinstimmung mit der Erwartung.

4.3 Fehlerdiskussion

Eine erste Auffälligkeit ergibt sich in den Spektren, bei denen bereits das Untergrundspektrum abgezogen ist. Es treten dabei teilweise negative Werte auf, die sich dadurch erklären lassen, dass in diesen Messreihen durch statistische Streuungen weniger Anregungen als im Untergrundspektrum gemessen werden. Vor allem bei Strahlern mit sehr geringer Intensität, wie bei den Perlen im zweiten Versuchsteil, entstehen durch den Abzug des Untergrundspektrums große Ungenauigkeiten, da dieses in der gleichen Größenordnung liegt, wie das Spektrum des Strahlers. Deshalb gestaltet sich auch die Auswertung dieser Probe als sehr schwierig und es kann kein bestimmtes Nuklid eindeutig identifiziert werden. Selbst in dem Bereich, in dem offensichtlich überdurchschnittlich viel Strahlung gemessen wird, ist es schwierig eine Gauß-Kurve an die

Daten anzupassen, da es sich eher um einen zufällig gestreuten Strahlungsanstieg zu handeln scheint.

Ein weiterer wichtiger Punkt sind die großen Fehler, die durch die Auswertung mithilfe der Gauß-Kurven entstehen. Da die relativen Fehler auf die bestimmten Energien zwischen 10% und 30% liegen, ist eine eindeutige Zuordnung bestimmter Nuklide fast nicht möglich. Dabei spielen sowohl die Fehler aus der Kalibrierung, als auch die Fehler aus der Peak-Bestimmung eine entscheidende Rolle. Der Fehler aus der Kalibrierung ließe sich beispielsweise dadurch verbessern, dass statt einer gewichteten linearen Regression eine ungewichtete durchgeführt wird. Da die Werte sehr gut auf einer Geraden liegen, kann davon ausgegangen werden, dass der Fehler hier durch die Gewichtung der Regression überschätzt wird.

Durch die soeben beschriebenen großen Unsicherheiten ist eine genaue Bestimmung einzelner Nuklide sehr schwierig realisierbar. Dadurch, dass die Peaks teilweise recht breit sind und sich in Teilen mit anderen Peaks, dem Hintergrundrauschen oder der Compton-Streuung überlagern, ist eine eindeutige Zuordnung extrem schwierig. Einfacher ist jedoch ein Vorgehen wie bei Ra-226 in [Abbildung 9](#), bei dem die Zerfallsreihe und damit die erwarteten Peaks bereits bekannt sind. Durch Einzeichnen der Erwartung kann dann leicht überprüft werden, ob es sich tatsächlich um die gegebene Zerfallsreihe handelt. Peaks, die sonst nicht als solche erkannt worden wären, können nun identifiziert werden, während auf der anderen Seite auch eindeutig ausgeschlossen werden kann, dass es sich um die jeweilige Zerfallsreihe handelt, wenn ein nicht vorhergesagter Peak auftreten sollte. Ist wie bei den Steinen und Perlen nicht bekannt, um welche Zerfallsreihe es sich handelt, so kann dieses Vorgehen natürlich nicht durchgeführt werden beziehungsweise es müssten sehr viele Zerfallsreihen radioaktiver Isotope überprüft werden.

Dass in [Abbildung 9](#) die meisten Peaks nach links von der Erwartung abweichen, deutet auf einen systematischen Fehler bei der Kalibrierung hin. Da jedoch diese Kalibrierung selbst auch eine recht hohe Unsicherheit besitzt, liegt diese Abweichung noch im Rahmen der Unsicherheit. Das Spektrum ist also trotzdem gut mit der vermuteten Zerfallsreihe verträglich.

4.4 Verbesserte Messmethoden

Um die Messungen zu optimieren, wäre es sinnvoll, eine längere Messung des Untergrundspektrums durchzuführen, da man dadurch statistische Schwankungen reduzieren könnte. Vorallem bei Messungen von Präparaten mit kleiner Strahlungsintensität, wie etwa den Perlen und Steinen, würde sich ebenfalls eine deutlich längere Messdauer anbieten. Dadurch könnte man besser zwischen Präparatsstrahlung und Untergrundstrahlung differenzieren, was das Bestimmen der Peaks und damit die Nuklidbestimmung wesentlich erleichtern würde.

Eine Möglichkeit, die Schärfe der Peaks zu erhöhen, wäre, die Messkanäle mithilfe der Software feiner einzustellen. Dadurch könnten außerdem mehr Messdaten zur numerischen Minimierung der Gauß-Kurven herangezogen werden, wodurch diese genauer ausfallen würde. Allerdings erhöht sich damit auch die statistische Streuung der Messwerte und somit auch die statistische Unsicherheit, da weniger Anregungen auf einen Kanal entfallen. Um diese statistischen Schwankungen zu reduzieren, müsste man also gleichzeitig die Messdauer stark erhöhen.

Es könnte zusätzlich hilfreich sein, das Präparat direkt auf das Messgerät zu richten und nicht durch das Loch in der Seite einzufügen. Dadurch wäre es wahrscheinlich möglich, höhere Intensitäten der Strahlung zu messen und damit feinere Spektren zu erhalten und Streuungen an den Wänden des Messgeräts könnten reduziert werden.

Literatur

- [1] Dr. Christof Bartels, Dr. Lukas Bruder, Dr. Thomas Pfohl: *Versuch 90 - Gammaskopie, Versuchsbeschreibung des Physiklabors für Anfänger*innen*, (Freiburg im Breisgau, 2022)
- [2] Dr. Christof Bartels, Dr. Lukas Bruder, Dr. Thomas Pfohl: *Datenanalyse Teil A - Skript zur Vorlesung am 06.09.2021*, (Freiburg im Breisgau, 2021/22)
- [3] Dr. Christof Bartels, Dr. Lukas Bruder, Dr. Thomas Pfohl: *Datenanalyse Teil B - Skript zur Vorlesung am 28.02.2022*, (Freiburg im Breisgau, 2021/22)
- [4] Prof. Dr.-Ing. Dr. Sabine Kunst: *Leifi-Physik: Radioaktivität Fortführung - Versuche: Weitere Gammaskopie* <https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-fortfuehrung/versuche/weitere-gammaskopie> (aufgerufen am: 05.04.2022)
- [5] Unbekannte*r Autor*in: *Gamma-Energien - Versuch 90 Gammaskopie* <https://omnibus.uni-freiburg.de/~phypra/ap/90/Versuch%2090%20Gamma-Energien.pdf> (aufgerufen am: 05.04.2022)
- [6] Hans Joachim Eichler, Heinz-Detlef Kronfeldt, Jürgen Sahn: *Das neue Physikalische Grundpraktikum*, (2016), Kapitel 48 „ γ -Spektroskopie“

6 Anhang

6.1 Tabellen und Grafiken

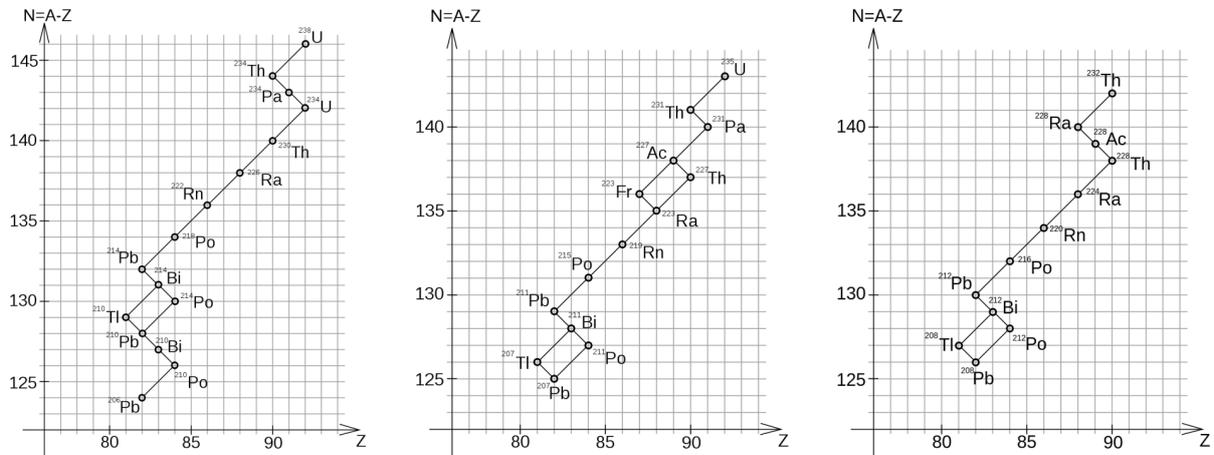


Abb. 8: Abgebildet sind die Zerfallsreihen von Uran-238, Uran-235 und Thorium-232 aus [1].

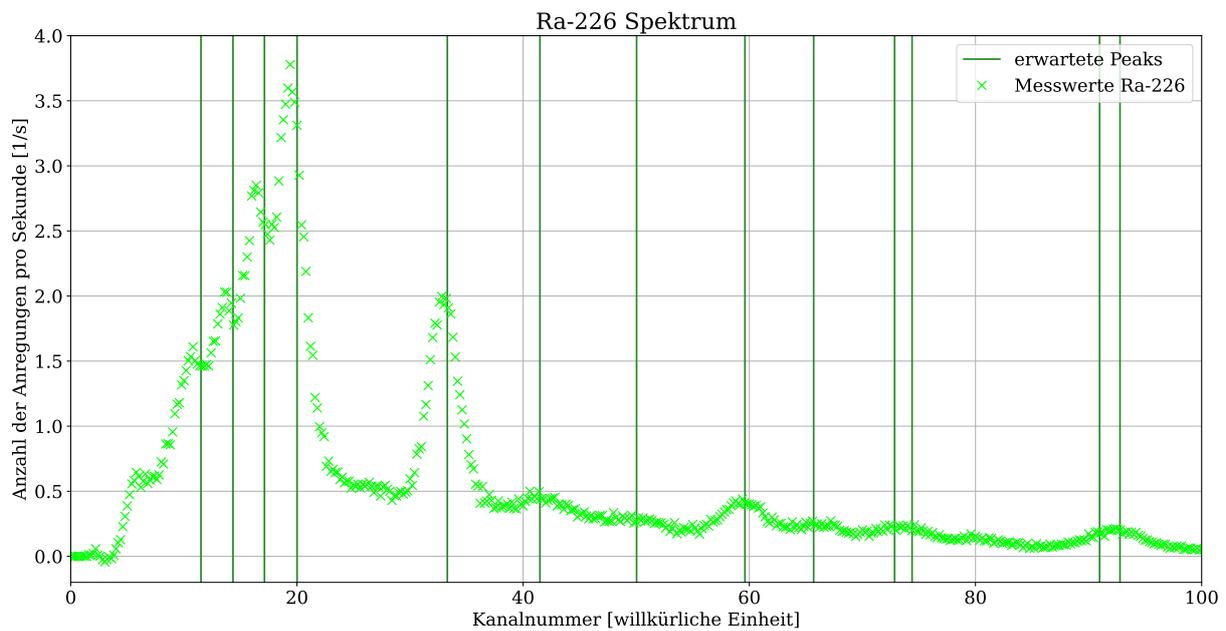


Abb. 9: Aufgetragen ist die Anzahl der Anregungen pro Sekunde N in s^{-1} gegen die Kanalnummer k in willkürlichen Einheiten sowie in dunkelgrün die erwarteten Peaks der Energien aus [5] der Nuklidzerfälle aus [1] für Ra-226.

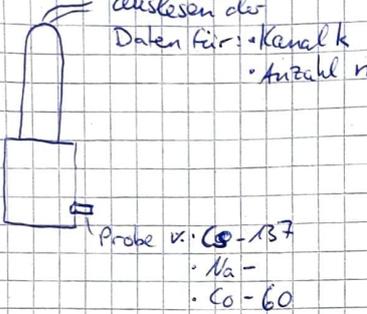
6.2 Laborbuch

04.04.22

Versuch 90 - Gammaskopie

1) Versuchsaufbau

1.1



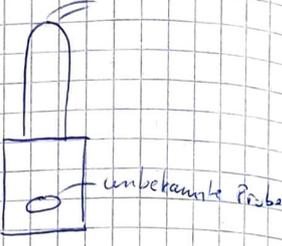
auslesen der Daten für:

- Kanal k
- Anzahl n

Probe v.:

- Cs-137
- Na-
- Co-60

1.2



unbekannte Probe

2) Messungen

2.1

Cs-137	Messdauer:	$t = 435,5 \text{ s}$
Co-60		$t = 300,0 \text{ s}$
Na-22		$t = 352,0 \text{ s}$

2.2

Untergrundmessung:	$t = 600 \text{ s}$
Rechblende:	$t = 600 \text{ s}$
beimte Steine:	$t = 100 \text{ s}$
Radium-226:	$t = 750,5 \text{ s}$

Tutor: Mehdi A. Belhaj

Abb. 10: Laborbuch

Tabellenverzeichnis

1	Kanalnummern der bekannten Energien	4
2	Nuklidbestimmung	10

Abbildungsverzeichnis

1	Versuchsaufbau	2
2	Verwendete Proben	2
3	Spektren zur Kalibrierung	4
4	Kanalnummer-Energie-Diagramm	5
5	Spektrum der Pechblende	6
6	Spektrum der Perlen und Steinen	7
7	Spektrum von Ra-226	8
8	Zerfallsreihen	14
9	Spektrum von Ra-226 mit erwarteten Peaks	14
10	Laborbuch	15