

# Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Theorie</b>	<b>1</b>
0.1	Definiton der Radioaktivität . . . . .	1
0.2	Stabilität . . . . .	1
0.3	Die verschiedenen Strahlungsarten . . . . .	2
0.3.1	$\alpha$ -Strahlung . . . . .	2
0.3.2	$\beta$ -Strahlung . . . . .	2
0.3.3	$\gamma$ -Strahlung . . . . .	3
0.4	Durchdringungsvermögen von radioaktiver Strahlung . . . . .	3
0.5	Die Halbwertszeit . . . . .	3
0.6	Die Aktivität . . . . .	5
0.7	Strahlenbelastung . . . . .	5
<b>1</b>	<b>Praxis</b>	<b>7</b>
1.1	Versuchsziel . . . . .	7
1.2	Versuchstheorie . . . . .	7
1.2.1	Wechselwirkung von $\gamma$ -Strahlung mit Materie . . . . .	7
1.2.2	Ein Typisches Spektrum . . . . .	9
1.3	Versuchsaufbau . . . . .	10
1.4	Durchführung des Versuches . . . . .	11
1.4.1	Beobachtung der Signale . . . . .	11
1.4.2	Ablauf . . . . .	11
1.4.3	Kalibrierung . . . . .	11
<b>2</b>	<b>Messung mit Europium-152</b>	<b>13</b>
2.1	Energieeichung . . . . .	13
2.2	FwHM-Eichung . . . . .	15
2.3	Aktivität der Europiumprobe am 16.11.2005 . . . . .	16
2.4	Die Effizienz von Europium . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Messung der unbekanntten Probe</b>	<b>19</b>
3.1	Bestimmung der Probe . . . . .	19
3.2	Aktivität der Probe . . . . .	20

*Inhaltsverzeichnis*

<b>4</b>	<b>Messung der Teekanne</b>	<b>22</b>
4.1	Bestimmung der Probe . . . . .	22
4.2	Aktivität der Probe . . . . .	25
<b>5</b>	<b>Messung der Hintergrundstrahlung</b>	<b>28</b>
5.1	Auswertung der Hintergrundstrahlung . . . . .	28

# 0 Theorie

## 0.1 Definiton der Radioaktivität

Radioaktivität, bzw. radioaktiver Zerfall ist die spontane Umwandlung instabiler Atomkerne unter Energieabgabe. Die werdende Energie wird in Form von ionisierender Strahlung freigesetzt. Bei der Kernumwandlung kann sich die Kernladungszahl ändern (Umwandlung in ein anderes chemisches Element), oder nur die Massenzahl (Umwandlung in ein anderes Isotop desselben Elements). Daneben gibt es Übergänge, bei denen sich nur der Anregungszustand des Kerns ändert (Übergang zwischen verschiedenen Isomeren desselben Isotops). Radioaktiver Zerfall ist kein deterministischer Prozess. Der Zerfallszeitpunkt ist absolut zufällig. Allerdings ist für jedes Nuklid die Zerfallswahrscheinlichkeit ein fester Wert, der durch die Halbwertszeit angegeben wird, doch dazu später. Nicht nur wann ein Zerfall geschieht, sondern auch die Art des Zerfalls ist unter Umständen zufällig. *Bismut-212* kann beispielsweise mit jeweils unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit auf drei verschiedenen Wegen zerfallen. Es wurden Listen aller Nuklide angefertigt, der man die genaue Art und Anteile der möglichen Zerfälle und Halbwertszeiten jedes bekannten Nuklids entnehmen kann, die so genannten Nuklidkarten.

## 0.2 Stabilität

Ein Atomkern ist dann stabil und kann nicht weiter von sich aus zerfallen, wenn es keinen radioaktiven Zerfall gibt, der zu einem energetisch niedrigeren Zustand führt. Beim Wasserstoff ist dieser Zustand das einzelne Proton als Atomkern, bei Helium und Elementen darüber müssen gleich viele Protonen als auch Neutronen den Kern bilden, und bei größeren Kernen überwiegt immer mehr die Zahl der Neutronen. Ab einer gewissen Zahl an Nukleonen werden alle Atomkerne instabil, weil die Kernkräfte sie nicht zusammen halten können.

## 0.3 Die verschiedenen Strahlungsarten

### 0.3.1 $\alpha$ -Strahlung

$\alpha$ -Strahlung entsteht durch einen Teilchenstrom von positiv geladenen Kernen des Elements Helium, das 2 Protonen und 2 Neutronen enthält. Sie dringt nur Bruchteile von Millimetern in Gewebe ein und hat in der Luft eine Reichweite von wenigen Zentimetern. Die Teilchenstrahlung ist allerdings sehr wirksam. Ein gesundheitliches Risiko besteht durch radioaktiv belastete Nahrung oder durch die Luft.  $\alpha$ -Strahlung entsteht auch beim Zerfall von Radon.

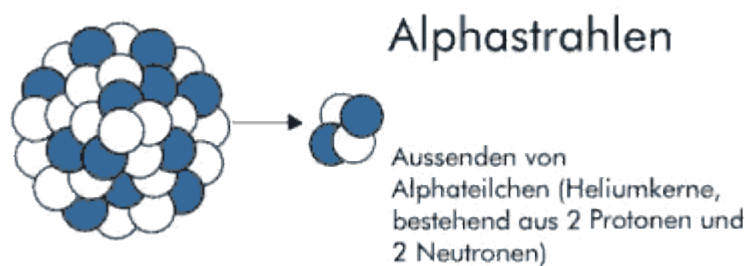


Abbildung 0.1:  $\alpha$ -Strahlung

### 0.3.2 $\beta$ -Strahlung

$\beta$ -Strahlung entsteht durch die Umwandlung eines Neutrons zu einem Proton innerhalb des Kerns. Dabei wird ein Elektron herausgeschleudert, das wenige Zentimeter in Gewebe eindringen kann und in der Luft eine Reichweite von mehreren Metern hat.  $\beta$ -Strahlung tritt bei Kernen mit Neutronenüberschuss auf.

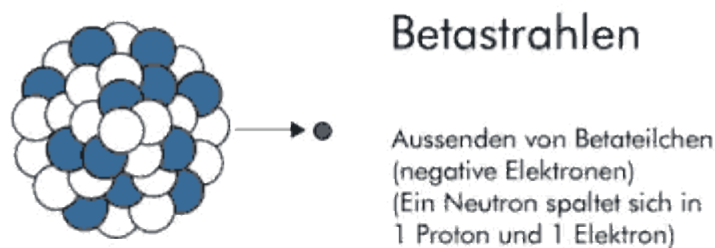


Abbildung 0.2:  $\beta$ -Strahlung

### 0.3.3 $\gamma$ -Strahlung

$\gamma$ -Strahlung sind elektromagnetische Wellen und in diesem Sinne keine Strahlung.  $\gamma$ -Strahlung entsteht bei fast allen radioaktiven Zerfallsprozessen. Sie ist eine Begleiterscheinung der Neuordnung der neu entstandenen Atomkerne.  $\gamma$ -Strahlung ist sehr energiereich und hat ein hohes Durchdringungsvermögen für Materie. Diese Strahlungsart dringt bis zu 25cm tief in Gewebe ein und hat in der Luft eine Reichweite von einigen hundert Metern.  $\gamma$ -Strahlung wird - wie auch das sichtbare Licht- in einzelnen "Portionen" (Quanten, Photonen) abgegeben. Die  $\gamma$ -quanten bewegen sich mit einer konstanten Geschwindigkeit  $\chi_0 = 299792,5 \frac{km}{s}$  (Vakuumlichtgeschwindigkeit).



Abbildung 0.3:  $\gamma$ -Strahlung

## 0.4 Durchdringungsvermögen von radioaktiver Strahlung

$\alpha$ -Teilchen haben als schwerste der radioaktiven Teilchen das geringste Durchdringungsvermögen. Sie können durch ein Blatt Papier abgeschirmt werden.  $\beta$ -Teilchen werden auf Grund ihrer geringeren Größe und kleineren Masse seltener gestreut. Sie können ein 1mm dickes Aluminiumblech nicht durchdringen.  $\gamma$ -Strahlung hat als elektromagnetische Welle die größte Reichweite. Eine schematische Darstellung ist in Abbildung 0.4.

## 0.5 Die Halbwertszeit

Die Halbwertszeit ist die Zeit, in der die Hälfte der instabilen Atomkerne einer radioaktiven Substanz zerfallen ist. Das radioaktive Isotop des Wasserstoffs, Tritium ( $H_3$ ), hat zum Beispiel eine Halbwertszeit von 12,3 Jahren. Dies bedeutet, dass

## 0 Theorie

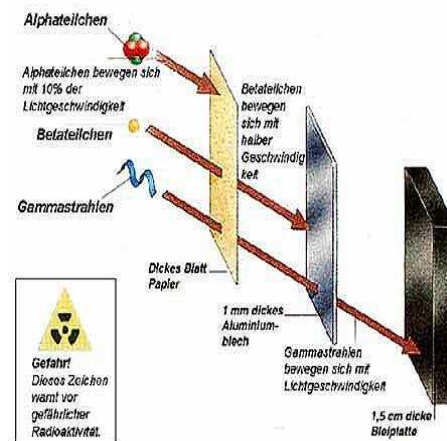


Abbildung 0.4: Durchdringungsvermögen der einzelnen Strahlungsarten

nach 12,3 Jahren die Hälfte aller Tritiumatome nicht mehr radioaktiv ist. Nach weiteren 12,3 Jahren hat sich die Aktivität erneut halbiert, so dass nur mehr ein Viertel der ursprünglichen Tritiumatomkerne radioaktiv sind. Da der radioaktive Zerfall strengen Gesetzmäßigkeiten folgt, auch wenn der Zeitpunkt des Zerfalls des einzelnen Tritiumatomkerns zufällig ist, stellt die Halbwertszeit eine charakteristische Größe für jedes Radionuklid dar. Die Halbwertszeiten liegen zwischen Sekundenbruchteilen und Milliarden von Jahren.

**Es gilt, je kürzer die Halbwertszeit, desto größer die Radioaktivität.**

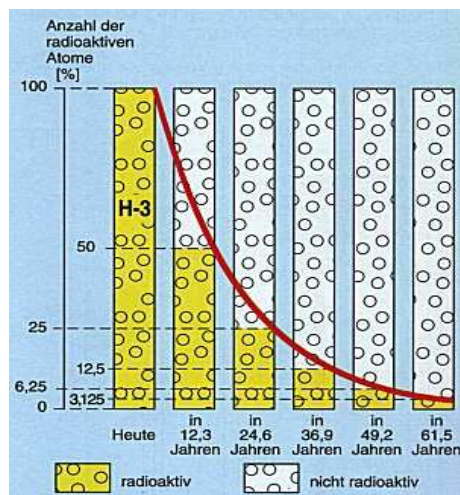


Abbildung 0.5: Halbwertszeit

## 0.6 Die Aktivität

Die Aktivität definiert die Anzahl der Kernumwandlungen innerhalb einer bestimmten Zeit. Für die Zeit wird als Einheit die Sekunde gewählt. Die Einheit der Aktivität ist also  $\frac{1}{s}$ . Sie wird zu Ehren des französischen Physikers Antoine-Henry Becquerel, der 1896 die Radioaktivität entdeckte, als Becquerel (*Bq*) bezeichnet.

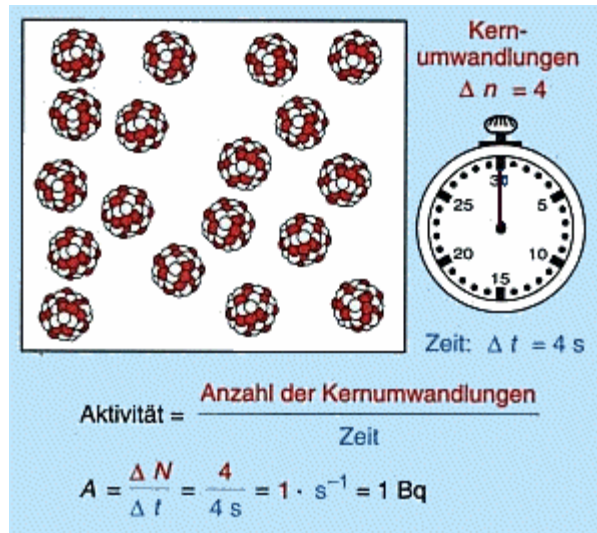


Abbildung 0.6: Aktivität

## 0.7 Strahlenbelastung



Abbildung 0.7: Werbung zur Radioaktivität

Abbildung 0.8 zeigt die Strahlenbelastung in Deutschland im Jahr 1987. Man erkennt deutlich, dass die größte Belastung durch die Medizin und die natürliche

## 0 Theorie

Strahlung (Radon, Bodenstrahlung und Kosmische Strahlung) entsteht. Belastung aus Forschung, Industrie und Militär tritt in einem geringeren Maße auf, als man zunächst vermuten könnte.

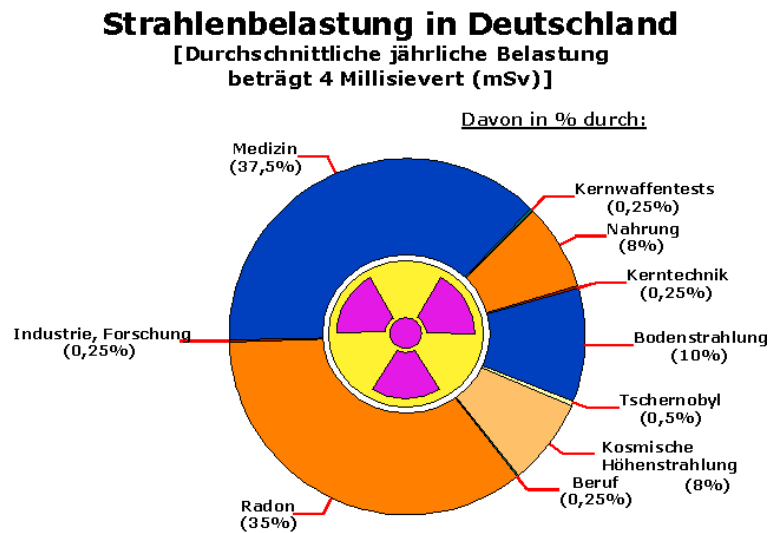


Abbildung 0.8: Strahlenbelastung in Deutschland im Jahr 1987



# 1 Praxis

## 1.1 Versuchsziel

Ziel ist es, die  $\gamma$ -Spektroskopie mittels einem Halbleiterdetektoren kennenzulernen. Es werden charakteristische Eigenschaften wie Energieauflösung und Nachweiswahrscheinlichkeit ermittelt. Die natürliche Hintergrundstrahlung wird auf die vorkommenden radioaktiven Elemente untersucht.

## 1.2 Versuchstheorie

### 1.2.1 Wechselwirkung von $\gamma$ -Strahlung mit Materie

#### Photoeffekt

Bei einer photoelektrischen Absorption erhält ein Elektron die Energie

$$E = h\nu - E_A$$

wobei  $E_A$  die Bindungsenergie des Elektrons in der Atomhülle ist. Der Wirkungsquerschnitt ist proportional zu  $Z^4$  und nimmt mit wachsender Energie der Gammaquanten ab.

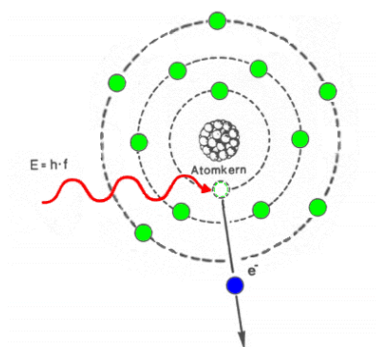


Abbildung 1.1: der Photoeffekt

## Der Compton-Effekt

Der Compton-Effekt ist mit einer elastischen Streuung eines  $\gamma$ -Quants an einem Elektron zu vergleichen. Die übertragene Energie hat unter dem Streuwinkel  $\mu$  den Wert

$$E = \frac{h\nu}{1 + \frac{m_0c^2}{h\nu(1-\cos\mu)}}$$

und wird für  $\mu = 180^\circ$  maximal, sie beträgt dann

$$E = \frac{h\nu}{1 + \frac{m_0c^2}{2h\nu}}$$

Der Wirkungsquerschnitt ist proportional zur Ordnungszahl  $Z$  des Absorbers, da Streuung durch Coulomb-Kräfte entsteht. Sie nimmt mit wachsender Energie der  $\gamma$ -Quanten ab. Wenn das gestreute  $\gamma$  den Kristall verlässt, wird nur die auf das Elektron übertragene Energie gemessen.

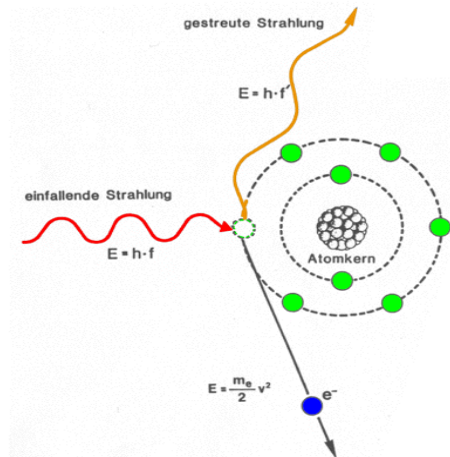


Abbildung 1.2: der Compton-Effekt

## Paarbildung

Paarbildung kann ab Energien von  $2m_0c^2$  entstehen ( $E \geq 1.022\text{MeV}$ ). Ein  $\gamma$ -Quant zerfällt in ein Elektron und ein Positron. Die Restenergie geht in kinetische Energie des Elektrons und des Positrons über. Der Wirkungsquerschnitt ist proportional zu  $Z^2$  des Absorbermaterials. Das Positron zerstrahlt zusammen mit einem Elektron im Kristall. Nachdem es zur Ruhe gekommen ist, zerfällt es in zwei  $\gamma$ -Quanten mit je  $511\text{KeV}$  (Impulserhaltung!). Es besteht die Möglichkeit, dass eines oder beide dieser  $\gamma$ -Quanten den Kristall verlassen und nicht detektiert werden.

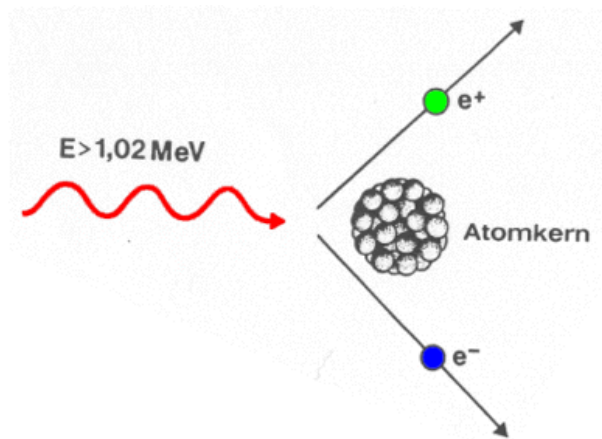


Abbildung 1.3: die Paarbildung

### Dopplereffekte

Dopplereffekte führen zu einer Linienverbreiterung im Spektrum. Erfährt ein Atomkern oder ein Elektron einen Rückstoß mit Geschwindigkeit  $v$  durch obige Effekte, so weist seine Energie eine winkelabhängige Dopplerverschiebung auf. Die korrigierte Energie  $E'_\gamma$  des  $\gamma$ -Quants beträgt:

$$E'_\gamma = E_\gamma \cdot \left(1 + \frac{v}{c} \cos \mu\right)$$

### 1.2.2 Ein Typisches Spektrum

Betrachten wir Abbildung 1.4, sehen wir ein typisches Impulshöhen-Spektrum eines NaI-Kristalls, wenn die eingestrahelte Energie  $4m_0c^2$  beträgt.

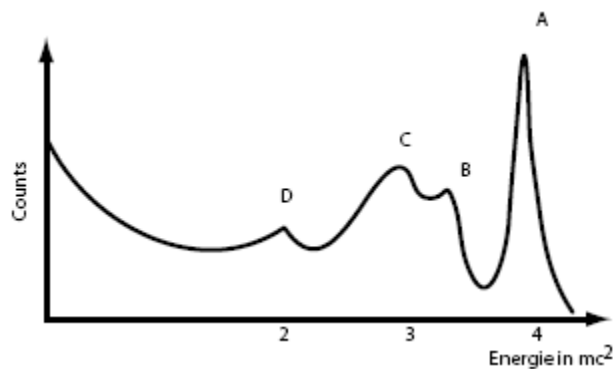


Abbildung 1.4: Typisches Spektrum eines  $\gamma$ -Strahlers.

Bei (A) findet sich der Photopeak mit  $4m_0c^2$ ; (B) ist die Comptonkante. Der überhöhte Bereich von (B) aus Richtung niedrigere Energien entsteht durch andere mögliche Winkel bei Comptonstreuung. (C) und (D) entstehen als Folge der Paarbildung, wenn die  $\gamma$ -Quanten der Vernichtungsstrahlung den Kristall verlassen.

### 1.3 Versuchsaufbau

Der Germanium-Detektor ist ein Halbleiterdetektor. Halbleiterdetektoren kann man allgemein (vereinfacht) als in Sperrichtung geschaltete Diode betrachten. Durch eine angelegte Hochspannung vergrößert man die Raumladungszone ("depletion zone") bis auf nahezu die gesamte Dicke. In dieser Zone können sich Ladungsträger frei bewegen. Trifft nun energiereiche Strahlung den Halbleiter so entstehen Elektron-Loch-Paare. Im Durchschnitt werden pro Elektron-Loch-Paar  $2.96eV$  benötigt (Germanium bei 77K). Die so entstandenen Ladungen werden durch einen ladungsempfindlichen Verstärker (z.B. *OV* als Integrator) vorverstärkt. Germanium bietet mit einer Kernladungszahl von 32 eine höhere Energieauflösung als z.B. Silizium ( $Z=14$ ), muss aber zur Reduktion des thermischen Rauschens mit flüssigem Stickstoff auf 77K gekühlt werden. Der Detektor wird durch einen Vorverstärker verstärkt (also Photomultiplier oder ladungsempfindlicher Verstärker). Der Hauptverstärker stellt das Signal für einen Vielkanalanalysator (MCA) bereit. Das Signal wird nun von einem Computer eingelesen. Ein Analyseprogramm stellt die Impulshöhenspektren dar und erlaubt es uns, nach einer Energieeichung Linien in unbekanntem Spektren zu identifizieren bzw. die Struktur bekannter Spektren genauer zu untersuchen. Wir haben die Auswertung soweit wie möglich vor Ort und mit Hilfe dieses Programmes durchgeführt.

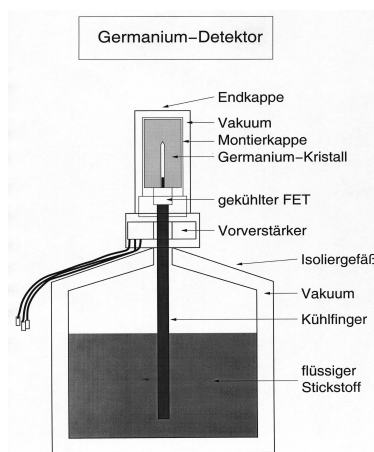


Abbildung 1.5: Germanium-Halbleiter-Detektor

## 1.4 Durchführung des Versuches

### 1.4.1 Beobachtung der Signale

Wir beobachten die Signale direkt am Detektor. Man kann sie auch nach dem Vorverstärker beobachten (haben wir nicht durchgeführt). Direkt am Detektor zeigen sich scharfe Peaks unterschiedlicher Höhe im Bereich kleiner als  $1mV$ . Nach dem Vorverstärker zeigt sich das typische Bild eines Shapers (Impulsformers, CR-RC-Netzwerk). Nach einem schnellen exponentiellen Anstieg des Signals auf maximal  $0,6V$  in ca.  $5^1s$  folgt ein langer exponentieller Abfall in ca.  $10^1s$ .

### 1.4.2 Ablauf

Zunächst machen wir uns mit der Bedienung der benötigten Programme vertraut. Dies ist zum einen das Programm PCA3 zur Bedienung des Vielkanalanalysators und zum anderen das Programm Gamma-W zur effizienten Auswertung von  $\gamma$ -Spektren. Damit unbekannte Proben auf ihre Radioaktivität untersucht werden können, muss das Spektrometersystem kalibriert werden. Bei der Kalibrierung handelt es sich hier um eine Energieeichung, eine FWHM-Eichung und die Bestimmung der so genannten Effizienz. Die Energieeichung wird mit *Am-241* und *Cs-137* durchgeführt. Die nähere Bestimmung der  $\gamma$ -Energien dieser Elemente entnehmen wir den Katalogen. Man kann nahezu alle Effekte bei der Absorption von Gammastrahlung in Materie mit *Cs-137* zeigen. Eine exakte Energieeichung führen wir mit dem Element *Eu-152* durch. Mit dem selben Element werden auch die FWHM-Kalibrierung und die Bestimmung der Effizienzfunktion durchgeführt. Über eine Langzeitmessung wird eine unbekannte Probe, eine alte Teekanne und die Hintergrundstrahlung detektiert und ausgewertet.

### 1.4.3 Kalibrierung

Die Kalibrierung erfolgt dadurch, dass wir einzelne Gammalinien im *Eu-152-Spektrum* herausnehmen (genauerer siehe Messwerte) und das Spektrum an diesen Stellen auf Peaks untersuchen. Falls vorhanden, werden diese extrapoliert und die Fläche unter den Peaks durch das Programm ermittelt. Ein solcher Peak ist in Abbildung 1.6 gezeigt:

1 Praxis

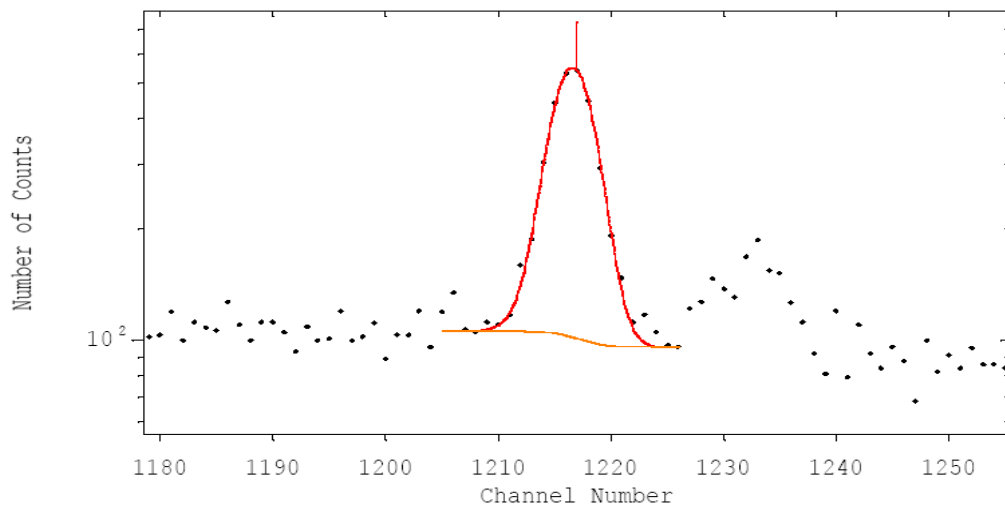


Abbildung 1.6: Typischer Peak des Europiumspektrums

## 2 Messung mit Europium-152

Bei der Messung mit der *Eu-152*-Probe haben wir das in Abbildung 2.1 dargestellte Spektrum untersucht.

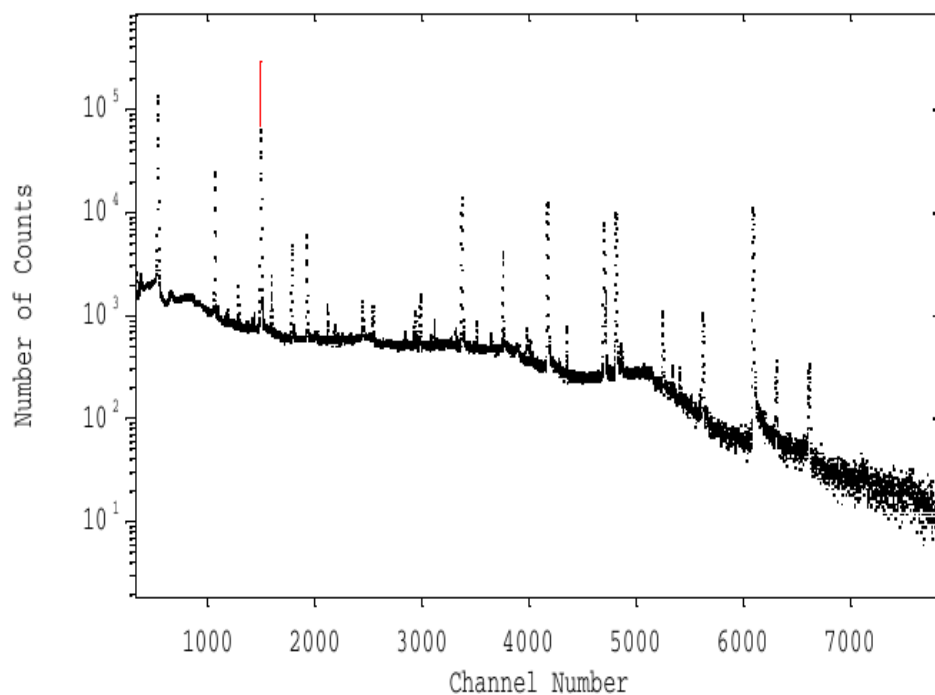


Abbildung 2.1: Spektrum von Europium 152

### 2.1 Energieeichung

Die Energieeichung mit *Am-241* und *Cs-137* dient als Vorübung, um im Folgenden mit *Eu-152* eine genaue Energieeichung durchzuführen. Für die *Eu-152*-Kalibrierung erhalten wir folgende Messwerte:

## 2 Messung mit Europium-152

Energieeichung (manuell)		
Kanal	Energie	Fehler
263,11	59,5	0,05
532,13	121,78	0,05
1062,93	244,69	0,05
1492,64	344,27	0,05
1781,24	411,11	0,05
1923,06	443,98	0,05
2863,95	661,6	0,05
3369,37	778,89	0,05
4168,93	964,12	0,05
4694,91	1085,78	0,05
4808,25	1112,02	0,05
6086,66	1407,95	0,05

Trägt man die Fläche gegen die Energielinien auf erhält man einen deutlich linearen Zusammenhang. Das heißt, je größer die Energie, desto größer ist die Fläche unter den Peaks. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Teilchen bei größerer Energie zunehmend zu Effekten, wie Photoeffekt, Compton-Streuung und Paarbildung (s.o.), befähigt sind.

Mit den Messwerten ergibt sich die in Abbildung 2.2 dargestellte Eichgerade.

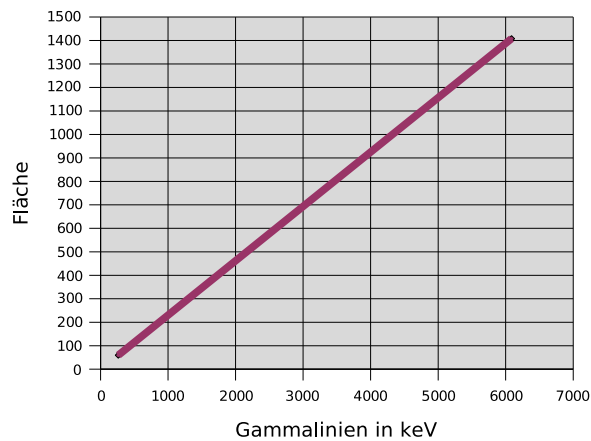


Abbildung 2.2: Energieeichung Europium



## 2.2 FWHM-Eichung

Hier verhält es sich wie bei der Energieeichung. Die Messung ergab folgende Werte:

FWHM-Eichung (manuell)		
Kanal	FWHM	Fehler
178,22	5,52	1,38
532,13	4,96	1,24
1492,64	5,71	1,43
1923,06	5,67	1,49
2441,45	5,96	1,49
2979,64	6,38	1,59
3369,37	7,02	1,75
3751,42	7,41	1,85
4168,93	7,49	1,87
4808,25	7,84	1,96
5243,80	7,45	1,86
6086,66	8,66	2,17
6300,65	7,66	1,91

Die Auswertung der Messwerte ergibt sich die in Abbildung 2.3 dargestellte Eichgerade.

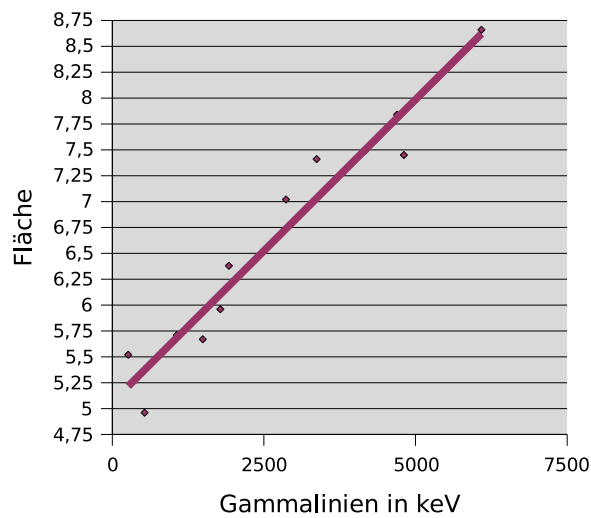


Abbildung 2.3: FWHM-Eichung Europium

## 2.3 Aktivität der Europiumprobe am 16.11.2005

Am 01.01.1987 betrug die Aktivität  $95,1 \text{ kBq}$ . Die Formel der Aktivität ist:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Die Halbwertszeit von Germanium beträgt  $T_{\frac{1}{2}} = 13,53 \text{ a}$ .

$$\frac{A_0}{2} = A_0 \cdot e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}} \Leftrightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}} \Leftrightarrow -\ln(2) = -\lambda T_{\frac{1}{2}} \Leftrightarrow \lambda = \frac{\ln(2)}{T_{\frac{1}{2}}} = 0,05127$$

Dies ergibt für die Aktivität vom 16.11.2005, wenn man bedenkt das seit dem 01.01.1987 insgesamt 18,89 Jahre vergangen sind:

$$A_{\text{Heute}} = 36,105 \text{ kBq}$$

## 2.4 Die Effizienz von Europium

Zur Bestimmung der Effizienzkurve von Europium dient folgende Rechnung.

$$Eff(E) = \frac{\text{Fläche}(E)}{A_{\text{Heute}} \cdot \text{Lifetime Emissionswahrscheinlichkeit}}$$

Wir haben am Versuchstag, folgende Messwerte aufgenommen (Dabei sind hier nur die relevanten Werte für unsere Auswertung angegeben; Prop=Emissionswahrscheinlichkeit):

2 Messung mit Europium-152

1201: Europium; Lifetime: 585s						
#	Position	Energie	Fläche	Prop	Effizienz $Eff(E)$	$\log(Eff(E))$
	in keV			in %		
9	532,1	121,8	672839,9	28,4	0,112	-0,95
17	1062,9	244,7	136169,4	7,51	0,086	-1,07
32	1492,6	344,2	381301,0	26,6	0,068	-1,17
37	1781,2	411,1	27187,6	2,23	0,058	-1,24
39	1923,0	443,9	35554,1	3,12	0,054	-1,27
65	3369,4	778,9	99288,3	13,0	0,036	-1,44
69	3751,4	867,3	29122,4	4,21	0,033	-1,48
75	4168,9	964,0	95670,1	14,6	0,031	-1,51
81	4694,9	1085,8	65293,4	10,2	0,030	-1,52
82	4711,7	1089,7	11354,6	1,66	0,032	-1,49
84	4808,3	1112,0	81498,4	13,6	0,028	-1,55
96	5616,3	1299,1	8738,8	1,63	0,025	-1,60
98	6086,7	1408,0	104800,7	20,8	0,024	-1,62

Trägt man die logarithmierte Effizienz gegen die Energie auf ergibt sich die in Abbildung 2.4 gezeigte Gerade. Mit Hilfe dieser Gerade werden wir die Effizienzen für die anderen Elemente und Proben bestimmen. Die Funktionsgleichung der Geraden in Abbildung 2.4 ist:

$$\log(Eff)(E) = -0,0005 \cdot E - 1$$

2 Messung mit Europium-152

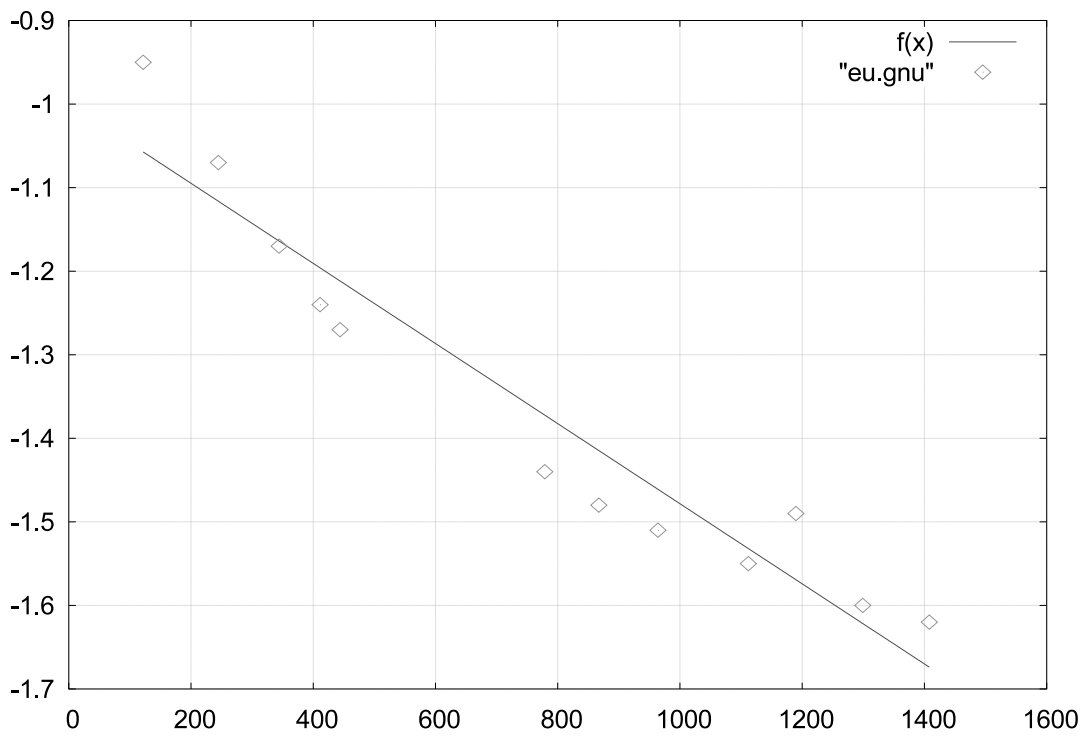


Abbildung 2.4: Effizienzkurve

# 3 Messung der unbekanntnen Probe

Bei der Messung mit der unbekanntnen Probe haben wir das in Abbildung 3.1 dargestellte Spektrum untersucht.

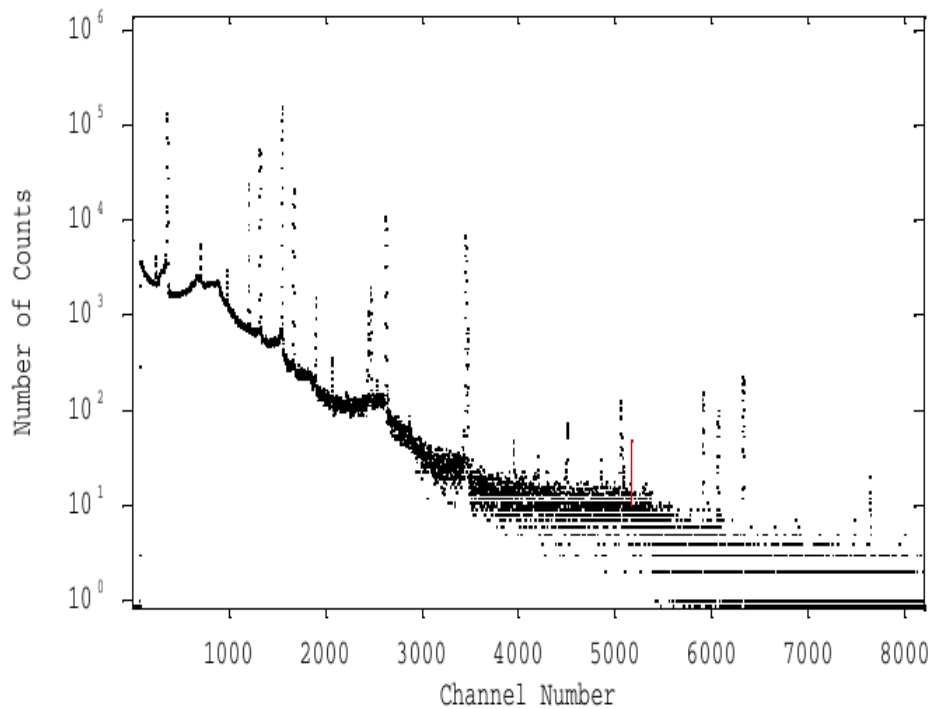


Abbildung 3.1: Spektrum von Europium 152

## 3.1 Bestimmung der Probe

Die Messung lieferte uns folgende Messwerte:

### 3 Messung der unbekannt Probe

1201: Unbekannte Probe; Lifetime: 6276s							
#	Position	Energie	Fläche	Prop	Effizienz $Eff(E)$	$\log(Eff(E))$	Elemente
		in keV		in %			
3	349,9	79,6	43259,3	2,43	0,354	-1,04	Ba-133
4	355,9	81,0	566795,3	32,8	0,354	-1,04	Ba-133
12	700,1	160,7	16163,3	0,72	0,341	-1,08	Ba-133
21	970,8	223,4	9702,5	0,47	0,331	-1,10	Ba-133
27	1199,9	276,5	118875,7	7,29	0,323	-1,13	Ba-133
30	1314,1	302,9	281743,4	18,6	0,318	-1,14	Ba-133
33	1543,7	356,1	851709,7	62,3	0,310	-1,17	Ba-133
41	1663,9	383,9	119765,7	8,84	0,306	-1,18	Ba-133
44	2059,2	475,4	1455,4	1,46	0,293	-1,23	Cs-134
45	2212,7	511,0	305,5				Paarvernichtung
46	2438,9	563,4	6201,9	8,38	0,281	-1,27	Cs-134
47	2465,1	569,5	11167,2	15,4	0,280	-1,27	Cs-134
49	2618,1	604,9	69895,1	97,6	0,275	-1,29	Cs-134
52	3443,9	796,1	49942,4	85,4	0,251	-1,38	Cs-134
53	3470,2	802,2	5003,9	8,73	0,251	-1,38	Cs-134
56	4493,1	1039,0	486,2	1,0	0,224	-1,50	Cs-134
58	5051,3	1168,3	958,9	1,8	0,210	-1,56	Cs-134
60	5903,4	1365,6	1380,1	3,04	0,191	-1,65	Cs-134
63	6316,8	1461,3	1973,4	10,7			K-40

Die uns vorgelegte Probe bestand also aus Barium-133 und Cäsium-134. Die in der Tabelle angegebenen Effizienzen ergeben sich mit Hilfe der ermittelten Effizienzkurve aus 2.4.

## 3.2 Aktivität der Probe

Mit der in 3.1 bestimmten Effizienz berechnen wir die Aktivität der Probe am 16.11.2005 in Abhängigkeit von der Energie. Dazu benutzen wir die uns bekannte Formel:

$$Eff(E) = \frac{\text{Fläche}(E)}{A_{\text{Heute}} \cdot \text{Lifetime Emissionswahrscheinlichkeit}}$$

### 3 Messung der unbekannt Probe

Dies ergibt für die Aktivität folgende Formel:

$$A_{\text{Heute}} = \frac{\text{Fläche}(E)}{\text{Eff}(E) \cdot \text{Lifetime Emissionswahrscheinlichkeit}}$$

Wir erhalten so zum Beispiel für eine Energie von  $E =$  folgende Aktivität:

$$A_{\text{Heute}} = \frac{43259,3}{0,3544 \cdot 6276 \cdot 0,0243} = 800,28$$

Die so errechneten Aktivitäten sind in folgender Tabelle aufgelistet.

Bereichsabhängige Aktivitäten der Probe		
Kanal	Energie	Aktivität
Ba-133		
3	79,6	800,28
4	81,0	777,35
12	160,7	1049,24
21	223,4	994,34
27	276,5	805,72
30	302,9	757,99
33	356,1	701,8
41	383,9	704,83
Cs-134		
44	475,4	54,27
46	563,4	42,03
47	569,5	41,30
49	604,9	41,49
52	796,1	37,13
53	802,2	36,50
56	1039,0	34,69
58	1168,3	40,44
60	1365,6	37,89

Zur richtigen Bestimmung der Aktivität müssen wir die Werte statistisch nacharbeiten. Dies führt zu folgender Rechnung:

$$A_{\text{Heute; gewichtet}} = \frac{\sum_i \text{Fläche}_i \cdot A_i}{\sum_i \text{Fläche}_i}$$

Damit erhalten wir  $A_{\text{Heute; Ba-133}} = 743,67 \text{ kBq}$  und  $A_{\text{Heute; Cs-134}} = 39,9 \text{ kBq}$ .

# 4 Messung der Teekanne

Bei der Messung mit der Teekanne haben wir das in Abbildung 4.1 dargestellte Spektrum untersucht.

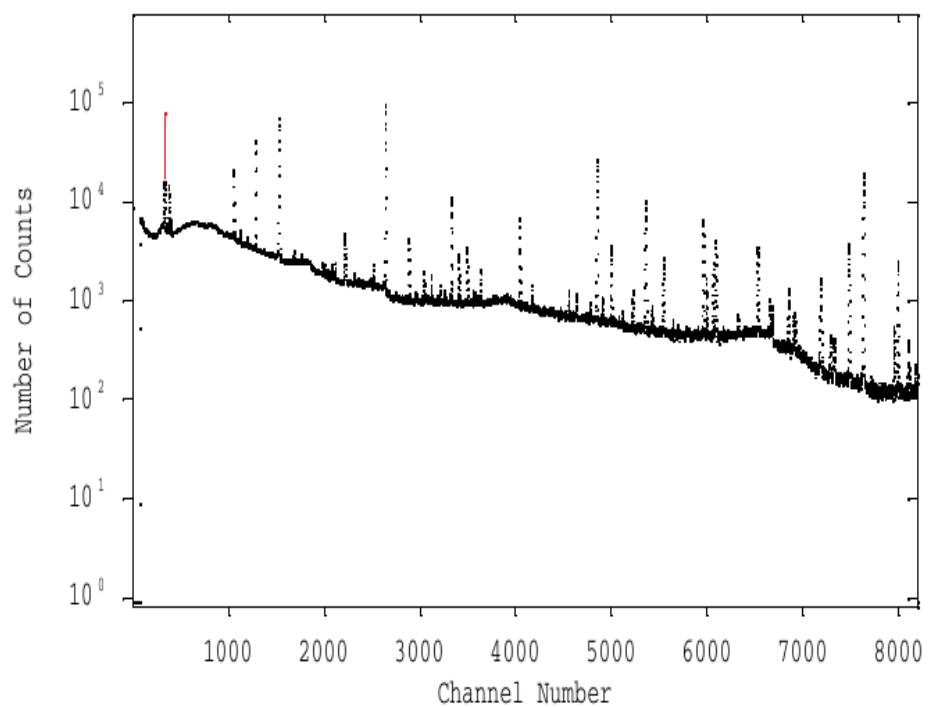


Abbildung 4.1: Spektrum von Europium 152

## 4.1 Bestimmung der Probe

Die Messung lieferte uns folgende Messwerte:



4 Messung der Teekanne

1201: Teekanne; Lifetime: 8504s							
#	Position	Energie	Fläche	Prop	Effizienz $Eff(E)$	$\log(Eff(E))$	Elemente
		in keV		in %			
1	320,2	72,9	45403,8				x-Ray Pb $k_{\alpha,2}$ oder Tl $k_{\alpha,1}$
2	329,4	75,0	111242,3				x-Ray Pb $k_{\alpha,2}$ oder Tl $k_{\alpha,1}$
3	338,7	77,2	49615,4				x-Ray Po $k_{\alpha,2}$ oder Bi $k_{\alpha,1}$
4	348,2	79,4	4574,0				x-Ray Po $k_{\alpha,2}$
5	372,0	84,9	50851,0				x-Ray Pb $k_{\alpha,1}$ oder Tl $k_{\alpha,2}$
14	1051,1	242,2	83774,7	7,46	0,326	-1,120	Pb-214
16	1123,7	259,0	6082,2	0,55	0,324	-1,129	Pb-214
17	1192,2	274,9	5435,9	0,32	0,321	-1,136	Pb-214
20	1280,6	295,3	194127,9	19,2	0,318	-1,147	Pb-214
24	1525,3	352,0	368330,3	37,1	0,309	-1,175	Pb-214
25	1675,8	386,9	3764,8	0,36	0,303	-1,192	Bi-214
26	1685,0	389,0	4454,7	0,41	0,303	-1,194	Bi-214
27	1757,5	405,8	2071,7	0,71	0,301	-1,202	Bi-214
28	1969,7	455,0	3385,1	0,32	0,293	-1,227	Bi-214
29	2000,3	462,1	3066,3	0,17	0,292	-1,230	Pb-214
30	2033,9	469,8	1564,8	0,13	0,287	-1,247	Bi-214
31	2080,3	480,6	4370,1	0,34	0,290	-1,239	Pb-214
32	2109,1	487,3	5628,0	0,44	0,289	-1,243	Pb-214
35	2212,8	511,3	15082,2				Paarvernichtung
36	2217,2	512,3	8095,5				Paarvernichtung
37	2309,8	533,8	2213,5	0,19	0,282	-1,266	Pb-214
42	2510,7	580,3	5376,9	0,36	0,276	-1,289	Pb-214
44	2636,6	609,5	592815,9	46,1	0,272	-1,304	Bi-214
50	2879,0	665,6	20605,2	1,56	0,264	-1,332	Bi-214
53	3041,4	703,2	6511,3	0,47	0,259	-1,351	Bi-214
55	3114,1	720,0	6189,1	0,40	0,257	-1,359	Bi-214
59	3256,4	753,0	1956,2	0,13	0,253	-1,376	Bi-214
61	3323,4	768,5	66783,1	4,88	0,251	-1,383	Bi-214
63	3399,2	786,1	15583,1	1,09	0,249	-1,392	Pb-214
65	3486,6	806,3	17079,6	1,23	0,246	-1,402	Bi-214
67	3551,4	821,3	2489,4	0,15	0,244	-1,410	Bi-214
70	3628,6	839,2	8288,3	0,59	0,242	-1,419	Pb-214

4 Messung der Teekanne

1201: Teekanne; Lifetime: 8504s							
#	Position	Energie	Fläche	Prop	Effizienz $E f f(E)$	$\log(E f f(E))$	Elemente
	in keV			in %			
74	3910,4	904,5	730,5	0,10	0,234	-1,451	Bi-214
76	4039,0	934,3	43626,0	3,16	0,231	-1,466	Bi-214
78	4168,7	964,3	5136,6	0,38	0,227	-1,481	Bi-214
82	4548,4	1052,3	4484,4	0,32	0,218	-1,525	Bi-214
83	4626,1	1070,3	3771,6	0,29	0,216	-1,534	Bi-214
86	4843,2	1120,6	206280,9	15,0	0,210	-1,559	Bi-214
88	4901,1	1134,0	3377,1	0,26	0,209	-1,566	Bi-214
89	4993,9	1155,5	23064,2	1,69	0,207	-1,577	Bi-214
92	5220,8	1208,0	6456,9	0,46	0,201	-1,603	Bi-214
94	5352,2	1238,5	79091,7	5,92	0,198	-1,618	Bi-214
96	5537,3	1281,3	19815,7	1,47	0,194	-1,640	Bi-214
97	5635,8	1304,2	1658,3	0,12	0,192	-1,651	Bi-214
101	5955,0	1378,1	52228,1	4,02	0,185	-1,688	Bi-214
102	5988,0	1385,7	10893,5	0,78	0,184	-1,692	Bi-214
104	6313,8	1461,2	1869,4				K-40
109	6523,3	1509,7	27511,0	2,19	0,173	-1,754	Bi-214
111	6650,4	1539,2	5600,6	0,41	0,171	-1,769	Bi-214
112	6671,0	1543,9	4373,4	0,35	0,170	-1,771	Bi-214
113	6843,1	1583,8	9098,0	0,72	0,167	-1,791	Bi-214
114	6893,2	1595,4	3209,7	0,27	0,166	-1,797	Bi-214
115	6912,6	1599,9	4012,8	0,33	0,165	-1,799	Bi-214
119	7180,5	1662,0	13395,6	1,15	0,160	-1,830	Bi-214
120	7278,7	1684,7	2772,0	0,24	0,159	-1,841	Bi-214
122	7475,7	1730,3	34470,3	3,05	0,155	-1,864	Bi-214
123	7626,6	1765,3	182948,0	15,9	0,152	-1,882	Bi-214
125	7945,6	1839,2	3753,7	0,38	0,147	-1,919	Bi-214
126	7985,1	1848,3	23719,5	2,12	0,146	-1,923	Bi-214

In der uns vorliegenden Probe sind also hauptsächlich Elemente der Thoriumzerfallsreihe enthalten. Die Elemente sind dabei größtenteils Alphastrahler.

Wir sehen also das es nicht sehr gesund wäre sich aus dieser Kanne Tee einzuschen-

ken. Es sei denn man möchte seinen Körper gerne mit Alphastrahlung verseuchen, was aber dazu führen würde, dass auf kurz oder lang die Erbinformationen der Zellen zerstört und als Folge dessen Krebs verursacht würde. Zudem ist Alphastrahlung innerhalb des Körpers, von den drei Strahlungsarten, die gefährlichste. Die in der Tabelle angegebenen Effizienzen ergeben sich mit Hilfe der ermittelten Effizienzkurve aus 2.4.

## 4.2 Aktivität der Probe

Mit der in 4.1 bestimmten Effizienz berechnen wir die Aktivität der Probe am 16.11.2005 in Abhängigkeit von der Energie. Dazu benutzen wir die uns bekannte Formel:

$$Eff(E) = \frac{\text{Fläche}(E)}{A_{\text{Heute}} \cdot \text{Lifetime Emissionswahrscheinlichkeit}}$$

Dies ergibt für die Aktivität folgende Formel:

$$A_{\text{Heute}} = \frac{\text{Fläche}(E)}{Eff(E) \cdot \text{Lifetime Emissionswahrscheinlichkeit}}$$

Wir erhalten so zum Beispiel für eine Energie von  $E = 242,2$  folgende Aktivität:

$$A_{\text{Heute}} = \frac{83774,7}{0,326 \cdot 8504 \cdot 0,0746} = 404,8$$

Die so errechneten Aktivitäten sind in folgender Tabelle aufgelistet.

Bereichsabhängige Aktivitäten der Probe		
Kanal	Energie	Aktivität
Pb-214		
14	242,2	404,8
16	1123,7	402,0
17	1192,2	622,4
20	1280,6	374,2
24	1525,3	378,0
29	462,1	725,7
31	480,6	521,9
32	487,3	521,1
37	533,8	485,8
42	580,3	637,5
63	786,1	676,3
70	839,2	682,5

#### 4 Messung der Teekanne

Bereichsabhängige Aktivitäten der Probe		
Kanal	Energie	Aktivität
	Bi-214	
25	386,9	405,2
26	389,0	421,4
27	405,8	114,1
28	455,0	424,1
30	469,8	492,8
44	609,5	556,9
50	665,6	588,3
53	703,2	628,8
55	720,0	708,2
59	753,0	700,2
61	768,5	641,7
65	806,3	663,6
67	821,3	799,1
74	904,5	366,7
76	934,3	703,4
78	964,3	699,1
82	1052,3	757,3
83	1070,3	708,3
86	1120,6	769,0
88	1134,0	731,2
89	1155,5	776,6
92	1208,0	820,0
94	1238,5	794,5
96	1281,3	816,9
97	1304,2	847,1
101	1378,1	826,4
102	1385,7	915,1
109	1509,7	853,3
111	1539,2	941,7
112	1543,9	863,5
113	1583,8	890,8
114	1595,4	842,9
115	1599,9	864,1
119	1662,0	853,9
120	1684,7	856,3
122	1730,3	857,3
123	1765,3	888,2
125	1839,2	791,2
126	1848,3	900,2

#### 4 Messung der Teekanne

Zur richtigen Bestimmung der Aktivität müssen wir die Werte statistisch nachbearbeiten. Dies führt zu folgender Rechnung:

$$A_{\text{Heute; gewichtet}} = \frac{\sum_i \text{Fläche}_i \cdot A_i}{\sum_i \text{Fläche}_i}$$

Damit erhalten wir  $A_{\text{Heute; Pb-214}} = 398,4 \text{ kBq}$  und  $A_{\text{Heute; Bi-214}} = 697,2 \text{ kBq}$ . Da wir angenommen haben, dass es sich hier um einen Punktstrahler handelt sind die erhaltenen Werte etwas höher als erwartet.

# 5 Messung der Hintergrundstrahlung

Bei der Messung der Hintergrundstrahlung haben wir das in Abbildung 5.1 dargestellte Spektrum untersucht.

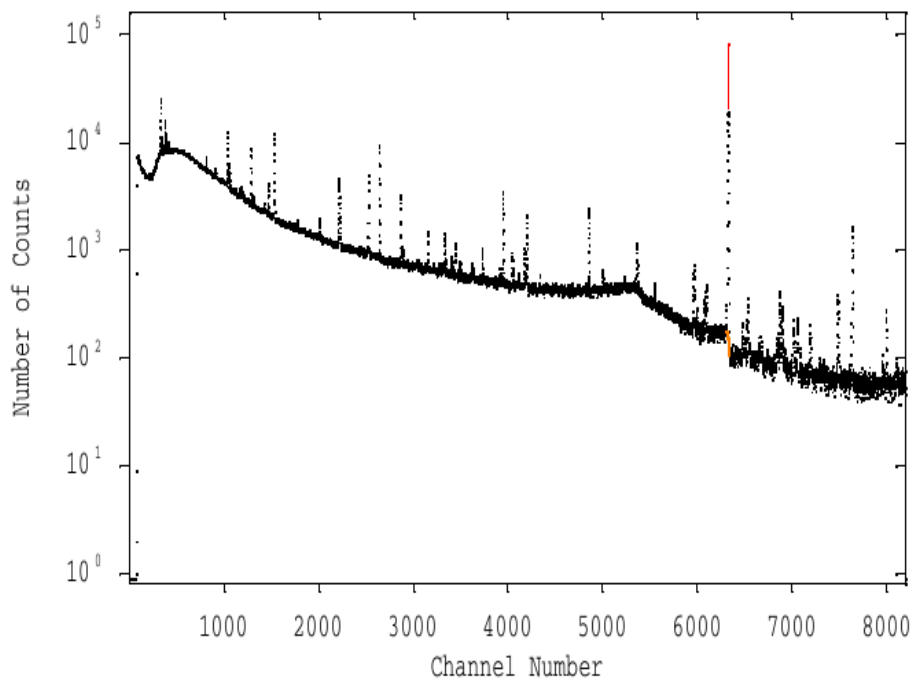


Abbildung 5.1: Spektrum des Hintergrunds

## 5.1 Auswertung der Hintergrundstrahlung

Die Messung lieferte uns folgende Messwerte:

5 Messung der Hintergrundstrahlung

1201: Untergrund; Lifetime: 564805s							
#	Position	Energie	Fläche	Prop	Elemente	Energie aus Literatur	Zerfallsreihe
		in keV		in %		in keV	
2	279,2	63,4	3690	3,81	U-238	63,3	
3	320,6	73,0	39319,4	0,5	Th-231?	73,6	
4	329,8	75,1	81295,6	0,51	Th-229	75,2	
5	339,0	77,3	15844,0		X-Ray		
7	369,5	84,3	8482,5	1,21	Th-228	84,4	Th Reihe
				6,5	U-235	84,2	
8	372,6	85,0	35834,2	2,66	Hf-182	84,7	
9	383,1	87,5	18558,5	0,38	Am-243	86,8	
10	394,3	90,1	2701,7	0,94	U-235	89,9	
11	406,3	92,8	7924,4	3,81	U-238		
12	409,5	93,6	1634,1	1,38	Ac-227	94,0	U-235 Reihe
16	627,7	144,1	1338,8		Ac-227		U-235 Reihe
17	809,4	186,2	10962,5	3,28	Rn-226	186	Th Reihe
18	910,5	209,6	4266,9	4,5	Ac-228	209,4	Th Reihe
19	1037,4	239,0	44549,4	43,6	Pb-212	238,6	Th Reihe
20	1047,1	241,3	4952,1	3,95	Rn-224	241,0	Th Reihe
21	1051,9	242,4	14942,7	7,46	Pb-214	241,9	U-238 Reihe
25	1113,5	256,6	884,7		Ca-50		
27	1173,5	270,5	4901,1	3,8	Ac-228	270,3	Th Reihe
28	1204,2	277,7	2421,3	6,8	Tl-208	277,4	Th Reihe
31	1281,4	295,5	32320,0	19,2	Pb-214	295,2	U-238 Reihe
32	1302,7	300,5	3611,6	3,42	Pb-212	300,1	Th Reihe
34	1423,1	328,4	3333,9	3,4	Ac-228	328,0	Th Reihe
35	1467,5	338,6	10294,7	12,0	Ac-228	338,6	Th Reihe
38	1526,3	352,3	56942,4	37,1	Pb-214	351,9	U-238 Reihe
40	1774,7	409,8	1788,7	2,2	Ac-228	409,4	Th Reihe

5 Messung der Hintergrundstrahlung

1201: Untergrund; Lifetime: 564805s							
#	Position	Energie	Fläche	Prop	Elemente	Energie aus Literatur	Zerfallsreihe
43	2006,2	463,4	4321,4	4,6	Ac-228	463,0	Th Reihe
46	2204,9	509,4	2347,2	0,49	Ac-228	509,6	Th Reihe
47	2209,8	510,6	9057,7	21,6	Tl-208	510,8	Th Reihe
48	2213,4	511,4	16877,6		Anihilation		
49	2218,1	512,5	7394,4		Anihilation		
54	2525,5	583,7	26571,0	68,0	Tl-208	583,1	Th Reihe
55	2638,4	609,9	56401,8	46,1	Bi-214	609,3	U-238 Reihe
57	2864,6	662,3	17189,1	89,9	Ba-137	661,6	aus Cs-137
58	2880,8	666,0	1910,0	1,56	Bi-214	665,5	U-238 Reihe
61	3148,1	727,9	6132,8	0,8	Ac-228	727,0	Th Reihe
				6,66	Bi-212	727,2	Th Reihe
62	3215,6	743,6	595,7	0,057	Pa-234	743,0	U-238 Reihe
65	3316,6	767,0	682,9	0,207	Pa-234	766,6	U-238 Reihe
66	3325,9	769,1	5587,1	4,88	Bi-214	768,4	U-238 Reihe
67	3342,4	772,9	1037,2	1,6	Ac-228	772,2	Th Reihe
68	3401,1	786,5	2222,1	0,3	Bi-214	786,1	U-238 Reihe
69	3440,5	795,7	3773,6	4,8	Ac-228	794,8	Th Reihe
70	3489,3	807,0	1399,7	1,23	Bi-214	806,2	U-238 Reihe
73	3616,4	836,4	1337,0	1,8	Ac-228	835,6	Th Reihe
75	3723,8	861,3	4100,6	12,0	Tl-208	860,4	Th Reihe
78	3912,0	904,9	1132,1	0,87	Ac-228	904,2	Th Reihe
79	3942,7	912,0	22438,6	29,0	Ac-228	911,1	Th Reihe
84	4041,4	924,9	3902,6	3,16	Bi-214	943,1	U-238 Reihe
86	4173,9	965,5	4897,3	5,5	Ac-228		Th Reihe
87	4192,4	969,8	13789,3	17,0	Ac-228	968,9	Th Reihe
88	4331,4	1002,0	1379,5	0,59	Pa-234	1001,0	U-238 Reihe
95	4846,2	1121,1	16312,1	15,0	Bi-214	1120,4	U-238 Reihe
97	4997,2	1156,2	1792,6	1,69	Bi-214	1155,2	U-238 Reihe
100	5355,3	1239,2	6428,1	5,92	Bi-214	1238,1	U-238 Reihe
102	5540,4	1282,1	1451,3	1,47	Bi-214	1281,0	U-238 Reihe
104	5958,4	1378,9	4221,5	4,02	Bi-214	1377,7	U-238 Reihe
105	5991,4	1386,5	846,2	0,78	Bi-214	1385,3	U-238 Reihe
106	6061,0	1402,7	1596,8	1,39	Bi-214	1401,5	U-238 Reihe



5 Messung der Hintergrundstrahlung

1201: Untergrund; Lifetime: 564805s							
#	Position	Energie	Fläche	Prop	Elemente	Energie aus Literatur	Zerfallsreihe
107	6089,2	1409,2	2593,8	2,48	Bi-214	1408,8	U-238 Reihe
108	6317,3	1462,0	175110,1	10,7	K-40	1460,8	
109	6469,1	1497,2	878,0	1,0	Ac-228	1495,8	Th Reihe
110	6492,7	1501,5	475,2	0,58	Ac-228	1501,5	Th Reihe
111	6526,4	1510,4	1965,1	2,1	Bi-214	1509,2	U-238 Reihe
112	6653,5	1539,9	688,9	2,48	Bi-214	1538,0	U-238 Reihe
113	6674,3	1544,7	430,2	0,35	Bi-124	1543,3	U-238 Reihe
114	6833,3	1581,5	456,2	0,71	Ac-228	1580,2	Th Reihe
115	6846,0	1584,5	540,8	0,72	Bi-214	1583,2	U-238 Reihe
116	6867,4	1589,4	2596,8	3,7	Ac-228	1587,9	Th Reihe
119	7007,6	1621,9	1288,0	1,55	Bi-212	1620,6	Th Reihe
120	7083,8	1639,6	441,5	0,54	Ac-228	1638,0	Th Reihe
121	7183,5	1662,7	1054,8	1,15	Bi-214	1661,3	U-238 Reihe
122	7284,2	1686,0	377,3	0,24	Bi-214	1684,0	U-238 Reihe
124	7478,7	1731,0	2910,2	3,05	Bi-214	1729,6	U-238 Reihe
125	7629,7	1766,0	15368,9	15,9	Bi-214	1764,5	U-238 Reihe
126	7949,8	1840,2	351,4	0,38	Bi-214	1838,4	U-238 Reihe
127	7987,9	1849,0	2085,8	2,21	Bi-214	1847,4	U-238 Reihe

Wie man leicht an der Tabelle erkennen kann, stammen viele der gefundenen Elemente aus den Zerfallreihen von Uran und Thorium. Dies ist mit der früheren Verwendung des Raumes, in dem der Versuch durchgeführt wurde, zu erklären. Denn in diesem Raum wurden früher Versuche mit Thorium durchgeführt. Interessant zu sehen ist auch, dass die bei weitem größte Aktivität von Kalium 40 ausgeht (vgl Tabelle # 108 und 5.1).