

Aktivitätskonzentration (AK)

Klaus Steiniger, Alexander Wagner, Gruppe 850

klaus.steiniger@physik.tu-dresden.de, alexander.wagner@physik.tu-dresden.de

Betreuer: Alexander Domula

Protokoll vom 23. April 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Vorkommen radioaktiver Strahlung	2
1.2	Detektion radioaktiver Strahlung	2
1.3	Gamma-Spektrum	2
1.4	Vollenergieansprechvermögen und Fano-Faktor	3
2	Durchführung	3
3	Messwerte	4
3.1	Kalibrierung	4
3.2	Aktivitätsbestimmung	5
4	Auswertung	6
4.1	Kalibrierung und Ansprechvermögen	6
4.2	Nuklids- und Aktivitätsbestimmung	8
4.2.1	Flasche	8
4.2.2	Pilze	9
4.2.3	Zirkonit	9
4.2.4	Erde	10
5	Abschließende Diskussion	10

1 Einleitung

Im Versuch Aktivitätsbestimmung wurden uns folgende Aufgaben gestellt:

1. Energiekalibrierung des HP-Ge-Halbleiterdetektors
2. Bestimmung des Energieauflösungsvermögens sowie des Fano-Faktors
3. Bestimmung des absoluten Vollenergie-Ansprechvermögens im Energiebereich zwischen 120 keV und 1500 keV
4. Qualitative Bestimmung der in Umweltproben enthaltenen radioaktiven Nuklide
5. Bestimmung der spezifischen Aktivitäten der gefundenen radioaktiven Nuklide unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Proben- und Messgeometrien

Ziel des Versuches ist es, die grundlegenden Eigenschaften der Radioaktivität kennenzulernen. Radioaktiv nennt man Materialien, deren Atomkerne spontan unter Aussendung von Energie zerfallen. Man unterscheidet zwischen Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung, wobei wir im Versuch aufgrund der relativ hohen Reichweite nur die Gammastrahlung untersuchen. Hierbei regen sich angeregte Kerne über die Aussendung von Photonen ab.

1.1 Vorkommen radioaktiver Strahlung

Der Mensch ist jederzeit radioaktiver Strahlung ausgesetzt, zum Teil natürlicher aber auch human erzeugter. Die Natürliche setzt sich zusammen aus primordialen Nukliden, die z.B. bei Supernovae entstanden sind und kosmischer Strahlung. Künstlich erzeugt man Strahlung z.B. in der Medizin oder zu wissenschaftlichen Zwecken.

1.2 Detektion radioaktiver Strahlung

Im Versuch weisen wir die Gamma-Strahlung indirekt durch Ionisation nach. Dazu verwenden wir einen HP-Ge-Halbleiterdetektor, welcher im Wesentlichen aus einem in Sperrichtung geschalteten pn-Übergang besteht. Durchläuft nun ein hochgeladenes Strahlungsteilchen diese Sperrschicht, so werden durch Ionisation Ladungsträger (Elektron-Loch-Paar) erzeugt und durch die angelegte Hochspannung abgesogen. Den daraus resultierenden Stromfluss kann man durch ein entsprechendes Messgerät aufzeichnen und auswerten, denn die Fläche unter dem Strompuls ist direkt proportional zur Strahlungsenergie. Je nach Energie wird nun das gemessene Ereignis in einem entsprechenden Kanal registriert. Im Versuch lassen wir das Experiment eine gewisse Zeit lang laufen, und werten dann die Energie-Verteilung der Ereignisse aus. Dazu müssen wir natürlich im Vorversuch den Kanälen die entsprechende Energie zuordnen, indem wir Quellen mit bekannter Aktivität und Zusammensetzung untersuchen.

1.3 Gamma-Spektrum

Die aus der Quelle stammenden Photonen besitzen eine wohldefinierte Energie, die auf die Quelenzusammensetzung schließen lässt, denn jedes radioaktive Nuklid unterliegt einem gewissen Zerfallsschema und sendet beim entsprechenden Zerfall Photonen mit einer bestimmten Energie aus. Im Detektor unterliegen dann diese Photonen verschiedenen Effekten: dem Foto-, Compton- und Paarbildungseffekt. Im unseren Versuch spielt letzterer jedoch eine untergeordnete Rolle. Beim Fotoeffekt deponiert das Photon seine gesamte Energie im Detektor, im Spektrum wird dies als Vollenergiepeak sichtbar. Beim Comptoneffekt wird nur ein Teil der Energie übertragen,

jedoch ist auch hier - z.B. durch mehrere Ablenkungen - ein vollständiger Energieübertrag möglich. Auch diese Ereignisse formen den Vollenergiepeak. Gestreute Photonen bilden das Compton-Kontinuum. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass Photonen bereits außerhalb des Detektors gestreut werden und dann im Detektor ihre verbleibende Energie deponieren, ist für die (externe) Rückstreuung am größten, weshalb der vordere (niederenergetische) Peak im Compton-Kontinuum Rückstreupeak genannt wird. Die hintere Kante nennt sich Compton-Kante; hier gibt das Photon die größtmögliche Energie an ein Elektron des Detektors ab. Das Elektron wird dann registriert.

1.4 Vollenergieansprechvermögen und Fano-Faktor

Das Vollenergieansprechvermögen ϵ gibt das Verhältnis zwischen registrierten Vollenergiepeakereignissen und ausgesendeten Photonen wieder:

$$\epsilon = \frac{N_i}{At\nu} \quad (1.1)$$

Dabei bezeichnet N_i die Nettosumme der Peakereignisse (Netto bedeutet Abzug des Untergrundes), A die Aktivität der Quelle und ν_i die Wahrscheinlichkeit des der Photonenergie entsprechenden Übergangs. Da die Messapparatur aber auch eine gewisse Totzeit besitzt, werden koinzidente bzw. sehr kurz aufeinander folgende Gamma-Emissionen gleichzeitig gemessen werden und als Summationspeak dargestellt werden.

Den Nettopeak kann man auch theoretisch berechnen, wenn man von einer Poissonverteilung und damit von statistisch unabhängigen Ereignissen ausgeht. Tatsächlich ergibt sich die gleiche Form wie im Experiment, jedoch stimmen die Halbwertsbreiten (FWHM) nicht überein. Das Verhältnis zwischen experimentell bestimmter und theoretischer FWHM bezeichnet man als Fano-Faktor F , wobei sich der theoretische Wert folgendermaßen ergibt:

$$FWHM_{th} = 2,355 \cdot \sqrt{E \cdot \bar{w}_i} \quad (1.2)$$

E bezeichnet die absorbierte Energie, und \bar{w}_i die mittlere Ionisationsenergie von 2,95 eV.

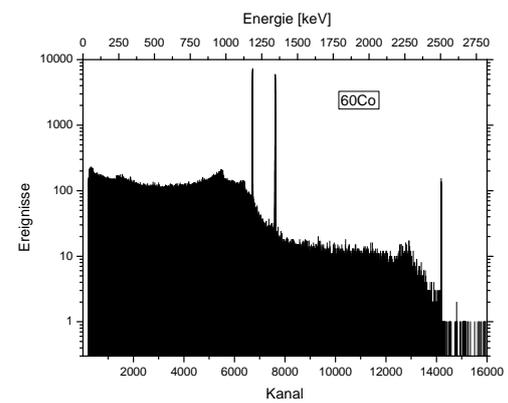
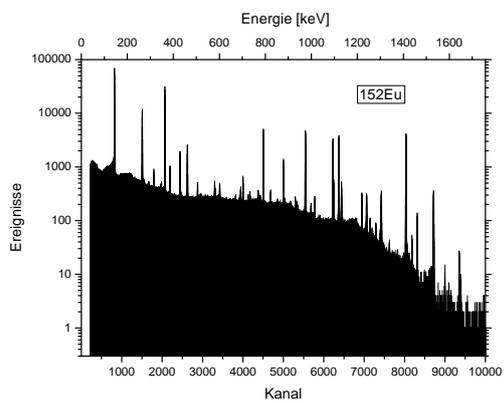
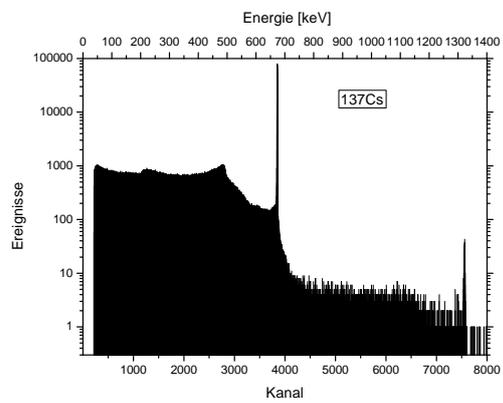
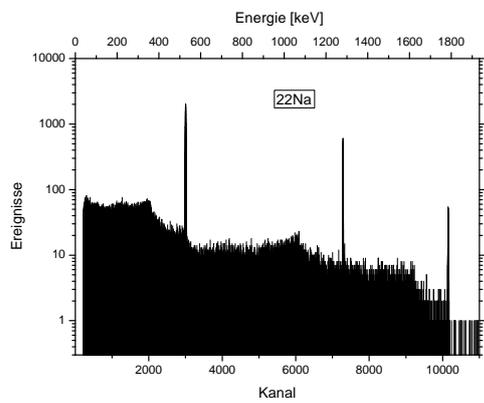
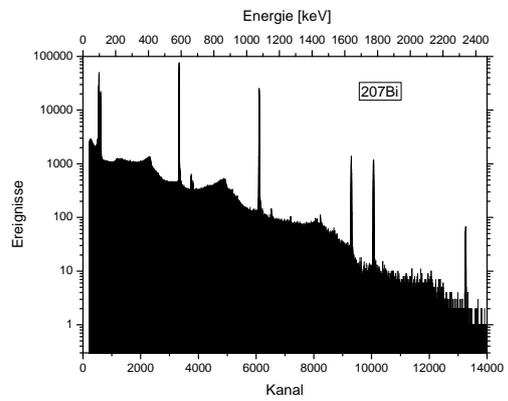
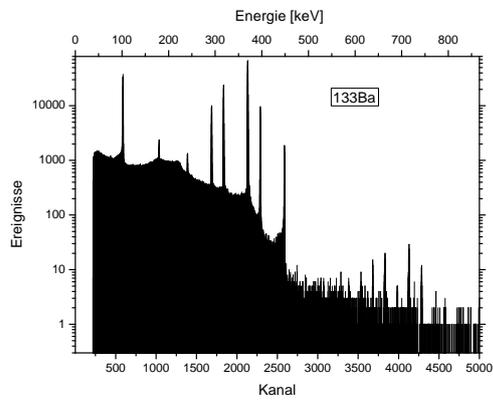
2 Durchführung

Die Durchführung gestaltete sich sehr einfach, da Computer-gestützt. Per Halterung befestigten wir die Proben mittig über dem Detektor, welcher mit flüssigem Stickstoff auf konstanter Temperatur gehalten wurde. Aus Strahlenschutzgründen befestigten wir um den Aufbau Blei-Mauern. Mit Hilfe von „GammaVision“ nahmen wir über eine vorher eingestellte Versuchszeit das Spektrum auf, konnten dann die jeweiligen ROIs (Regions of Interest) eintragen und den optimalen Gauß-Fit auswerten.

3 Messwerte

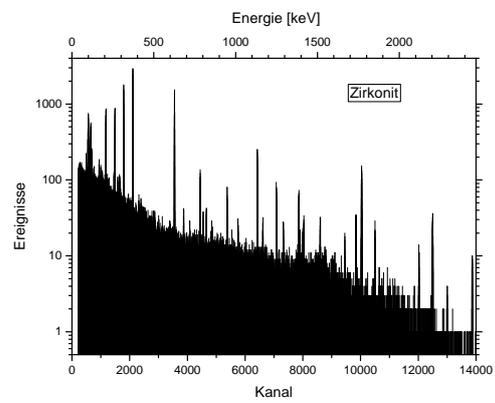
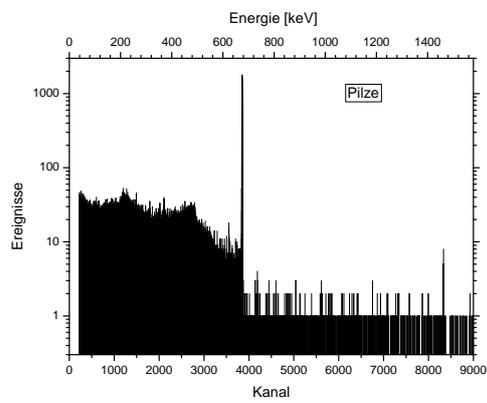
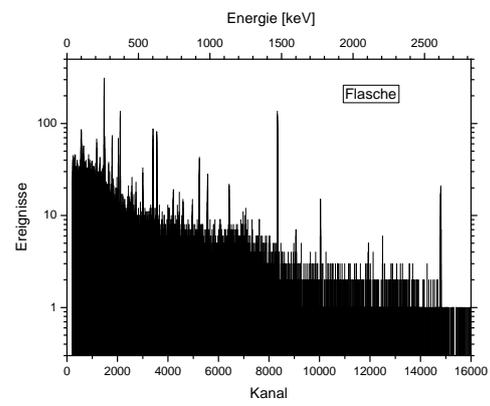
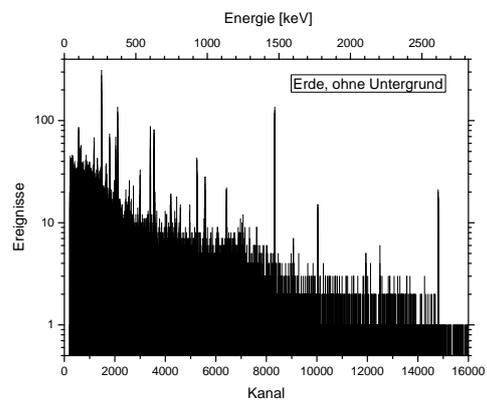
3.1 Kalibrierung

Nachfolgend sind die Spektren der Quellen mit uns bekannter Aktivität dargestellt. Die Messzeit betrug jeweils 600s mit abgerechneter Totzeit.



3.2 Aktivitätsbestimmung

Nun folgen die Spektren der zu untersuchenden Proben. Hier betrug die Nettomesszeit jeweils 1200 s, bei der Erde jedoch 7200 s.



4 Auswertung

4.1 Kalibrierung und Ansprechvermögen

Zuerst haben wir die Quellen mit bekannter Aktivität vermessen und die folgende Kalibriergerade erstellt:

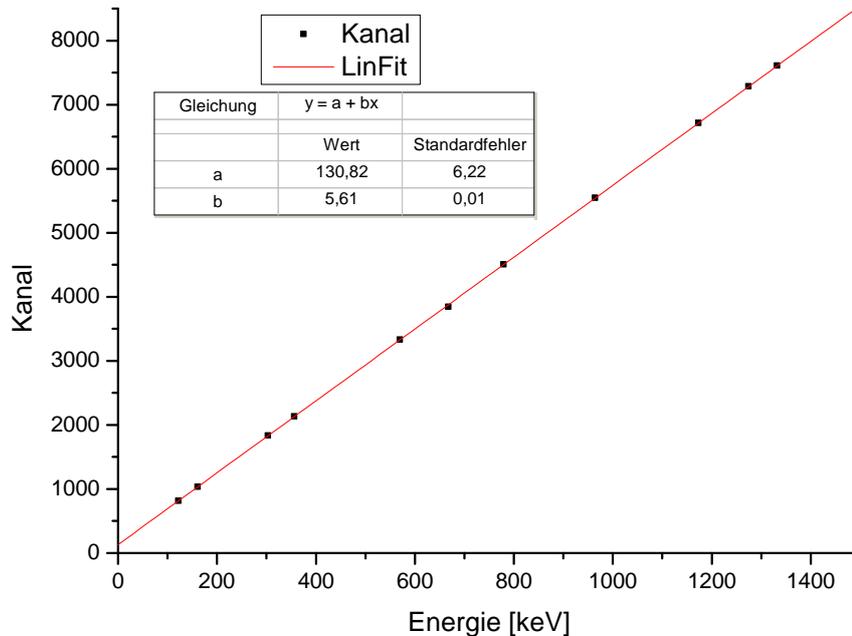


Abbildung 1: Kalibriergerade (selbst erstellt)

Mit dieser Gerade haben wir nicht gerechnet, denn GammaVision erstellt eine eigene Gerade und rechnet auch mit dieser. Der Vollständigkeit halber möchten wir sie hier aber trotzdem angeben. Die Gleichung dazu lautet:

$$E = (0,178 \cdot K - 23,32) \text{ keV} \quad \text{mit der Kanalnummer } K$$

Die Fehler (FWHM) sind so klein, dass Sie hier nicht dargestellt werden konnten. Berechnet haben wir mit diesen FWHMs und den theoretischen nach (1.2) einen Fano-Faktor von $F = 0,432$. Dieser Wert liegt im in der Anleitung vorhergesagten Bereich zwischen 0,1 und 0,5.

Zur Aktivität der Quellen ist noch zu sagen, dass wir hierzu Daten vom 7.1.2007 zur Verfügung hatten und über die bekannte exponentielle Schwächung die heutige Aktivität ausgerechnet haben. Die Formel lautet:

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \quad \text{mit der Halbwertszeit } T_{1/2}$$

Mit dieser Aktivität und den Emissionswahrscheinlichkeiten aus den Zerfallsschemata konnten wir schließlich das Vollenergieansprechvermögen ausrechnen und grafisch darstellen:

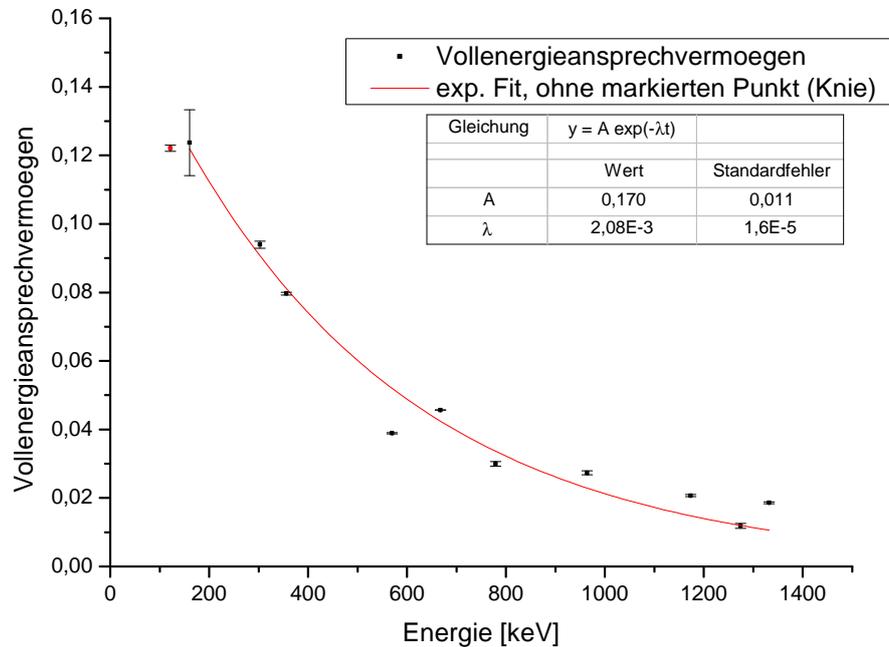


Abbildung 2: Vollenergieansprechvermögen

Auch hier scheinen die Fehlerbalken viel zu klein, in Anbetracht der relativ großen Abweichung vom exp. Fit. Wir veränderten deshalb die ROI um einen Peak und schauten uns die Auswirkungen auf die Nettosumme an. Wir kamen zu dem Entschluss, dass diese Schwankung in der Größenordnung von rund 3σ , d.h. $3 \cdot \text{FWHM}$ lag und verdreifachten deshalb unsere Halbwertsbreiten. Das Ergebnis ist bereits im Diagramm oben dargestellt und scheint trotzdem noch zu klein. Einem weiteren Fehler, den wir beim Messen gemacht haben, ist hier noch nicht Rechnung getragen: Summationspeaks. Diese entstehen, wenn mehrere Photonen gleichzeitig bzw. kurz hintereinander vom Detektor wahrgenommen werden. Dieser besitzt jedoch eine gewisse Totzeit, und er kann diese Ereignisse nicht voneinander trennen, sondern nimmt diese als EIN Ereignis wahr. Entsprechend reduziert sich die Anzahl der gezählten Ereignisse in den eigentlichen Peaks und man muss mit Hilfe eines Faktors korrigieren. Wir hatten eine Tabelle mit Korrekturfaktoren zur Verfügung, jedoch waren nicht alle Isotope und Übergänge enthalten, sodass wir nur wenige Werte (schwarz) korrigieren konnten. Folgende Grafik ergab sich, wobei der Fit nur durch die schwarzen Werte gezogen wurde.

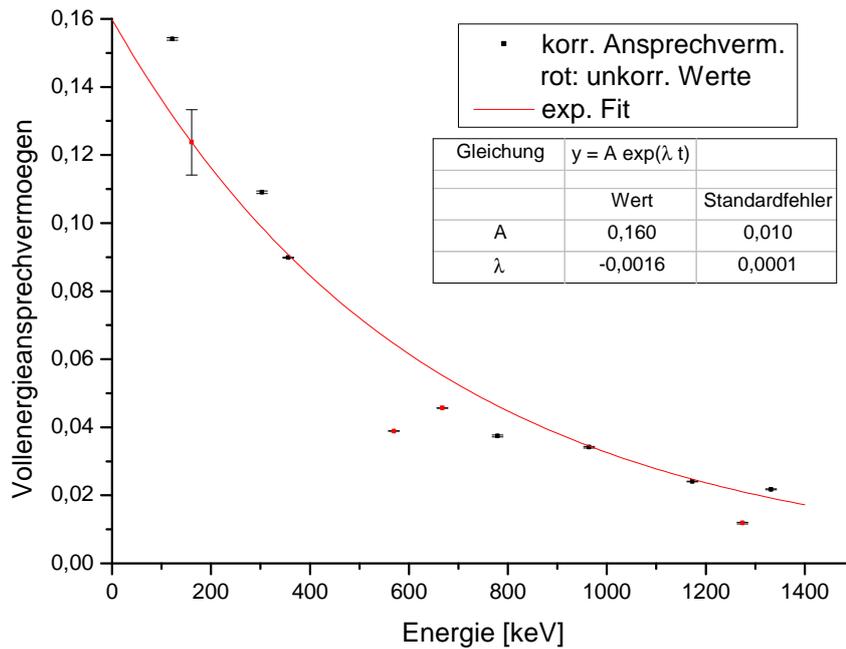


Abbildung 3: korrigiertes Vollenergieansprechvermögen

Unserer Meinung nach haben die Korrekturfaktoren nicht viel verändert. Jedoch müssen wir diese Aussage sehr vorsichtig treffen, denn wir haben ja nur ein paar Werte korrigieren können. Vielleicht ergibt sich ein besseres Bild, wenn wir alle Werte hätten korrigieren können.

4.2 Nuklids- und Aktivitätsbestimmung

4.2.1 Flasche

Folgende Peaks konnten wir aus dem Spektrum entnehmen:

PeakNr.	Energie [keV]	Zuordnung	Peakfläche	Fehler	Aktivität [Bq]
1	79,02	^{108m}Ag	24742	641	2269
2	433,88	^{108m}Ag	264576	879	3553
3	614,28	^{108m}Ag	187034	619	3664
4	661,70	^{134}Cs			
5	722,98	^{108m}Ag	159040	544	3863
6	1048,32	Summationspeak (2+3)			
7	1156,97	Summationspeak (2+5)			
8	1337,29	Summationspeak (3+5)			
9	1771,17	Summationspeak (2+3+4)			

Tabelle 1: Spektralanalyse der Flasche

Peak Nr. 4 war nur sehr schwach, er rührt vom Isotop ^{134}Cs , welches bei der Kernspaltung entsteht und heutzutage in fast jedem Material nachweisbar ist. Die restlichen Peaks entstehen alle beim Zerfall des metastabilen Silber-108-Isotops, was auf ein sehr reines Silber schließen lässt. Das Auftreten der Summationspeaks lässt sich folgendermaßen erklären: Das angeregte Isotop regt sich über 3 Zwischenzustände in den Grundzustand ab; eine andere Möglichkeit

der Abregung existiert nicht. Die Zwischenzustände sind alle instabil, sodass alle 4 Abregung quasi-koinzident stattfinden und 4 Photonen gleichzeitig die Quelle verlassen. Je nachdem, wie viele Photonen dann im Detektor registriert werden ergibt sich der jeweilige Peak.

Die Aktivität berechneten wir über Formel (1.1) mit der Approximation des Epsilon aus Abb.2.

4.2.2 Pilze

Zur Untersuchung standen uns auch Pilze zur Verfügung, die direkt der Kontamination in Tschernobyl ausgesetzt waren. Erwarten würde man hier das Vorhandensein von ^{134}Cs , welches dort in hohem Maß freigesetzt wurde. Und tatsächlich erhielten wir einen markanten Peak bei $E = 661,57\text{ keV}$ mit einer Nettopeakfläche von 13439 ± 121 . Es ergibt sich eine Aktivität von rund 51 Bq. Diese Aktivität scheint sehr gering im Vergleich zu unseren Quellen, d.h. von diesen Pilzen geht keine großartige Strahlungsgefahr aus.

4.2.3 Zirkonit

Hier konnten wir 16 Peaks erkennen und zuordnen:

PeakNr.	Energie [keV]	Zuordnung
1	185,89	^{235}U
2	241,86	^{214}Pb
3	295,10	^{214}Pb
4	351,80	^{214}Pb
5	609,23	^{214}Bi
6	768,31	^{214}Bi
7	934,03	^{214}Bi
8	1120,29	^{214}Bi
9	1238,16	^{214}Bi
10	1377,61	^{214}Bi
11	1729,63	^{214}Bi
12	1764,46	^{214}Bi
13	1847,14	^{214}Bi
14	2118,07	^{214}Bi
15	2203,94	^{214}Bi
16	2447,29	^{214}Bi

Tabelle 2: Spektralanalyse des Zirkonits

Alle natürlich vorkommenden alpha- und beta-Strahler kann man in vier Zerfallsreihen einordnen. Das Uran hierbei ist Ausgangspunkt der Uran-Actinium-Zerfallsreihe, die anderen Elemente stammen aus der Uran-Radium-Reihe.

4.2.4 Erde

In diesem Spektrum fanden wir recht viele Peaks und konnten ihnen die jeweiligen Elemente aus den Zerfallsreihen zuordnen. Zur besseren Übersicht haben wir sie hier nach Isotopen geordnet aufgelistet:

PeakNr.	Energie [keV]	Zuordnung	Peakfläche	Fehler	Aktivität [Bq]
1	185,63	^{235}U	179	24	0,38
2	238,35	^{212}Pb	1507	51	4,67
3	241,54	^{214}Pb	122	26	0,22
4	351,69	^{214}Pb	713	46	3,22
5	609,23	^{214}Bi	494	40	3,11
6	1120,67	^{214}Bi	307	42	17,1
7	1764,71	^{214}Bi	102	31	21,3
8	294,97	^{215}Bi	437	27	0,65
9	338,02	^{228}Ac	383	26	5,60
10	911,06	^{228}Ac	163	76	3,43
11	968,86	^{228}Ac	231	78	8,96
12	510,39	^{208}Tl	212	26	2,21
13	582,94	^{208}Tl	503	41	1,64
14	2613,80	^{208}Tl	304	17	57,6
15	1460,87	^{40}K	1226	78	190,1

Tabelle 3: Spektralanalyse der Erde

Hier stellt man fest, dass Nuklide aus allen 3 Zerfallsreihen vorhanden sind. Die 4. Reihe mit Neptunium als Ausgangsmaterial ist bereits so gut wie komplett zerfallen und kann demnach nicht mehr wirklich in der Natur vorkommen. Nur das Nuklid ^{209}Bi ist auf Grund seiner hohen Halbwertszeit noch vorhanden.

Auch hier muss man bemerken, dass sich relativ geringe Aktivitäten ergeben, denn auch 190 Zerfälle pro Sekunde (Bq) sind bei der sehr großen Teilchenanzahl ($\sim 10^{22}$) eben recht selten.

5 Abschließende Diskussion

Wir konnten in diesem Versuch weitere Erfahrungen im Umgang mit Radioaktivität sammeln und haben z.B. ein gewisses Gefühl für 1 Bq als Einheit der Aktivität bekommen. Wir konnten zeigen, dass verschiedenste radioaktive Nuklide auch natürlich vorkommen und der Mensch und die Natur ständig radioaktiver Strahlung ausgesetzt ist.

Alle theoretischen Erwartungen konnten erfüllt werden, darunter z.B., dass der Detektor einen linearen Zusammenhang zwischen Kanal und Energie liefert, dass das Vollenergieansprechvermögen diese typische Abhängigkeit von der Energie besitzt und das man bestimmte Nuklide bestimmten Ereignissen zuschreiben kann (s. ^{134}Cs).