

Physikalisches Fortgeschrittenenpraktikum

Gammaskopie

– *Auswertung* –

Armin Burgmeier

Robert Schittny

1 Energiekalibrierung der Detektoren

Zur Energiekalibrierung nahmen wir zunächst die Spektren von ^{22}Na , ^{57}Co und ^{137}Cs mit beiden Detektoren auf, die recht markante und damit leicht zu findende Photolinien aufweisen, deren Energien wir bereits kennen und daher als Referenzwerte verwenden können. Die Spektren sind im Anhang A zu finden.

Wir fitteten jeweils eine Gaußkurve mit Hilfe von ROOT an die Photopeaks, um deren Position zu bestimmen. Dabei erhielten wir folgende Werte:

	E [keV]	Kanal (NaJ-D.)	Kanal (Ge-D.)
^{22}Na	511	431,68	476,19
^{22}Na	1275	1070,01	1169,64
^{57}Co	122	95,33	118,25
^{137}Cs	662	603,43	598,6

Tabelle 1: Energiekalibrierung der verw. Detektoren

Wir können nun die Kanal-Energie-Abhängigkeit der beiden Detektoren mit Hilfe einer linearen Regression erhalten:

2 Energieauflösung der beiden Detektoren

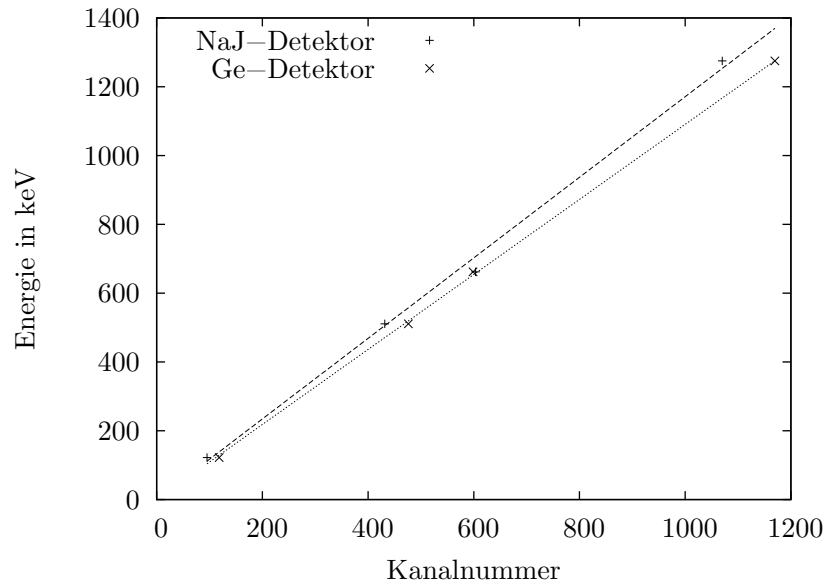


Abbildung 1: Energiekalibrierung

Wir erhalten für den NaJ-Detektor

$$E_{NaJ}(K) = (1,171 \pm 0,0226) \cdot K \text{ keV} \quad (1)$$

sowie für den Ge-Detektor

$$E_{Ge}(K) = (1,091 \pm 0,0059) \cdot K \text{ keV} . \quad (2)$$

Die geringen Fehler in der Regression zeigen uns, dass die Detektoren im betrachteten Energiebereich gut linear arbeiten.

2 Energieauflösung der beiden Detektoren

Wir wollen nun die Energieauflösung der beiden Detektoren vergleichen. Für die Energieauflösung gilt

$$\Delta E \propto \sqrt{E} . \quad (3)$$

Um dies zu überprüfen, vermessen wir die Breiten der Photolinien in den zuvor aufgenommenen Spektren, die ein direktes Maß für die Energieauflösung sind. Tragen wir diese über \sqrt{E} auf, so sollten wir eine Gerade erhalten. Je geringer die Geradensteigung dabei ist, desto höher ist die Energieauflösung des Detektors.

Wir erhalten folgende Breiten der Photolinien aus unseren Spektren:

3 ^{60}Co -Spektrum

	E [keV]	Breite NaJ [keV]	Breite Ge [keV]
^{22}Na	511	38,5	2,92
^{22}Na	1275	74,67	4,77
^{57}Co	122	14,45	1,48
^{137}Cs	662	36,34	2,18

Tabelle 2: Breiten der einzelnen Photolinien für beide Detektoren

Hieraus erhalten wir folgendes Bild:

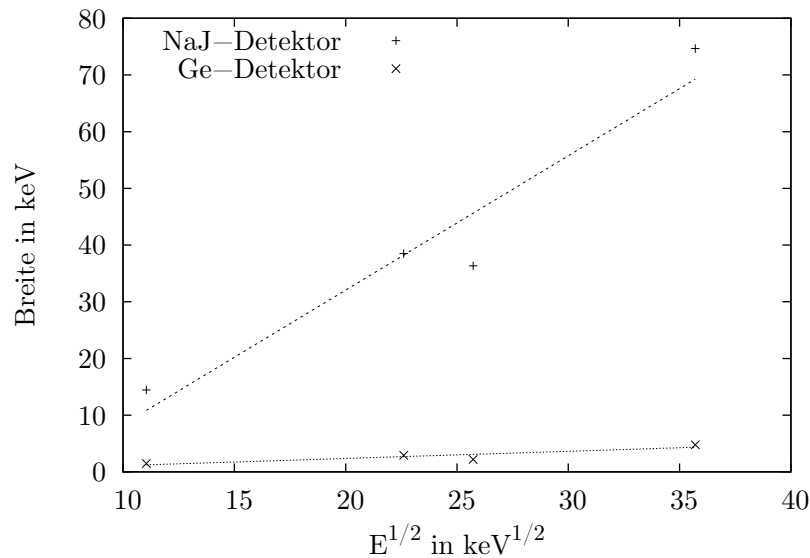


Abbildung 2: Energieauflösung der verwendeten Detektoren

Für beide Detektoren ergibt sich mit guter Näherung eine Gerade, einzig die Werte des ^{137}Cs -Spektrums fallen etwas aus der Reihe. Wir können also davon ausgehen, dass die Energieunschärfe tatsächlich proportional zur Wurzel der Energie ist.

Außerdem ist gut erkennbar, dass der Ge-Detektor eine deutlich höhere Energieauflösung als der NaJ-Detektor hat. Dies wird qualitativ auch schon aus den aufgenommenen Spektren deutlich, die beim Ge-Detektor deutlich schärfer sind als beim NaJ-Detektor.

3 ^{60}Co -Spektrum

Wir haben nun das Spektrum von ^{60}Co mit beiden Detektoren untersucht. Insbesondere wollen wir dabei Koinzidenzen untersuchen, daher haben wir auch die zeitlichen Abstände zwischen den einzelnen Ereignissen aufgenommen: Jedes aufgenommene Ereignis besteht aus drei Größen: Der Energie in einem der beiden Detektoren, dem Zeitabstand nach dem im anderen Detektor ein Ereignis wahrgenommen wurde (oder 0 wenn nach

3 ^{60}Co -Spektrum

genügend großer Zeit dort kein Ereignis aufgetreten ist) und der Energie dieses zweiten Ereignisses, wenn es vorhanden ist.

Zunächst untersuchen wir die beiden Spektren, die die Detektoren aufgenommen haben einzeln. Wir stellen fest, dass es zwei Photopeaks gibt, was darauf hindeutet, dass ^{60}Co in zwei Schritten zerfällt. Weiterhin sehen wir wie bei diesen Spektren typisch eine Comptonkante und einen Rückstreupeak. Den Photo-Peak bei kleinerer Energie werden wir im folgenden als 1. Peak bezeichnen und den bei größerer Energie als 2. Peak.

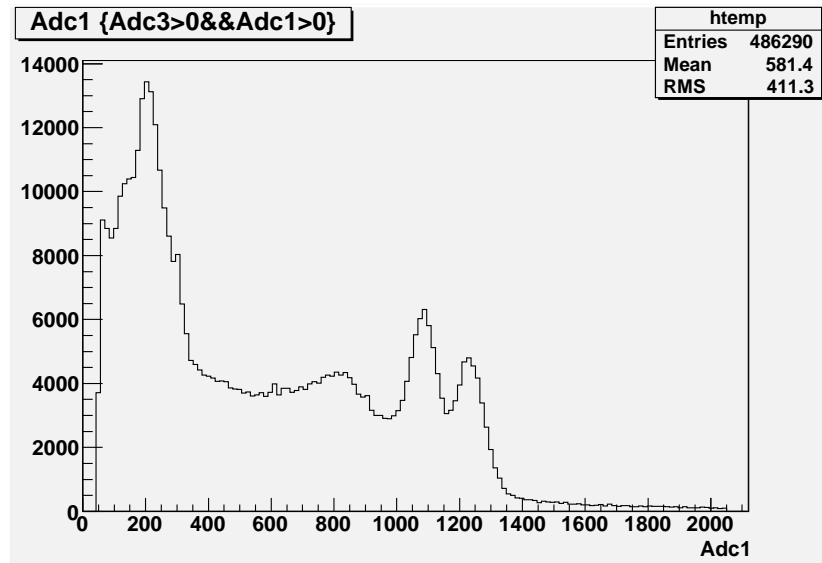


Abbildung 3: ^{60}Co -Spektrum des NaJ-Detektors

3 ^{60}Co -Spektrum

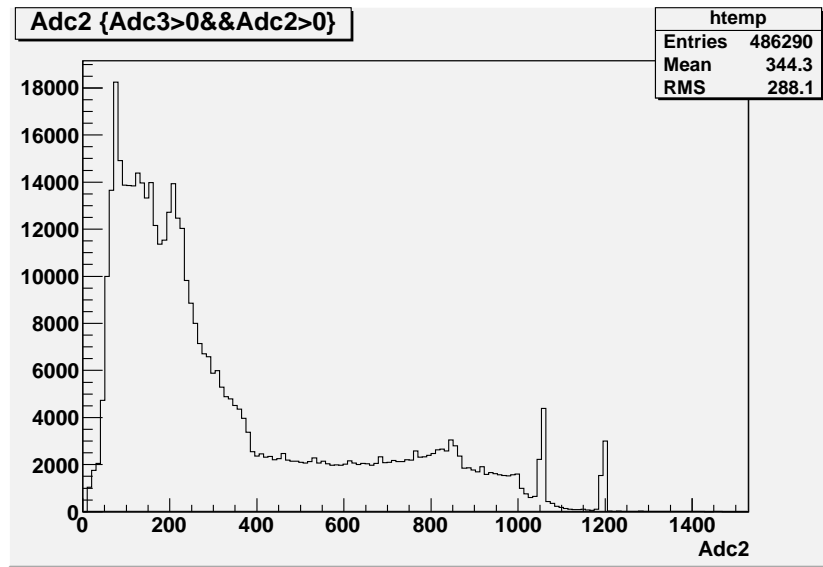


Abbildung 4: ^{60}Co -Spektrum des Ge-Detektors

Die Energien der Peaks haben wir wieder bestimmt indem wir mit ROOT eine Gaußkurve angefitet haben. Mit Hilfe der Kalibrierung können wir diese in Energien umrechnen. Der Fehler der Kalibrierung geht als systematischer Fehler in die Energie ein, da er für alle Umrechnungen gleich ist. Damit erhalten wir folgende Energien der beiden Übergänge für den jeweiligen Detektor:

Detektor	Peak	Kanal	Energie [keV]
NaJ	1	$1080,00 \pm 0,44$	$1264,68 \pm 0,52 \pm 24,41$
NaJ	2	$1226,98 \pm 0,51$	$1436,79 \pm 0,60 \pm 27,73$
Ge	1	$1054,82 \pm 0,04$	$1150,81 \pm 0,04 \pm 6,79$
Ge	2	$1196,78 \pm 0,04$	$1305,69 \pm 0,05 \pm 7,07$

Tabelle 3: Energien der Photopeaks von ^{60}Co

Dieses Ergebnis ist höchst merkwürdig, da es nicht in sich konsistent ist. Eigentlich sollten beide Detektoren die Peaks natürlich bei den gleichen Energien messen. Bereits bei der Betrachtung der Spektren fällt auf, dass die Peaks beim Ge-Detektor bei kleineren Kanalindizes liegen als beim NaJ-Detektor. Bei den Spektren der Kalibrierung (siehe Anhang) war dies jedoch genau umgekehrt. Wir vermuten dass aus einem uns nicht näher bekannten Grund die Einstellungen zwischen der Kalibrierung und der ^{60}Co -Messung an mindestens einem der beiden Detektoren verändert wurden.

Koinzidenzspektroskopie Im weiteren interessieren wir uns für Koinzidenzen bei den Ereignissen um auf das Termschema vom ^{60}Co -Zerfall schließen zu können. Sollten die Ereignisse die jeweils im Bereich der Photopeaks liegen unabhängig voneinander sein, so

3 ^{60}Co -Spektrum

gibt es vermutlich auch zwei verschiedene Zerfallskanäle. Sind sie allerdings so korreliert, dass auf ein Ereignis im ersten Peak unmittelbar eines im zweiten Peak folgt, so können wir davon ausgehen, dass eine Zerfallskaskade vorliegt.

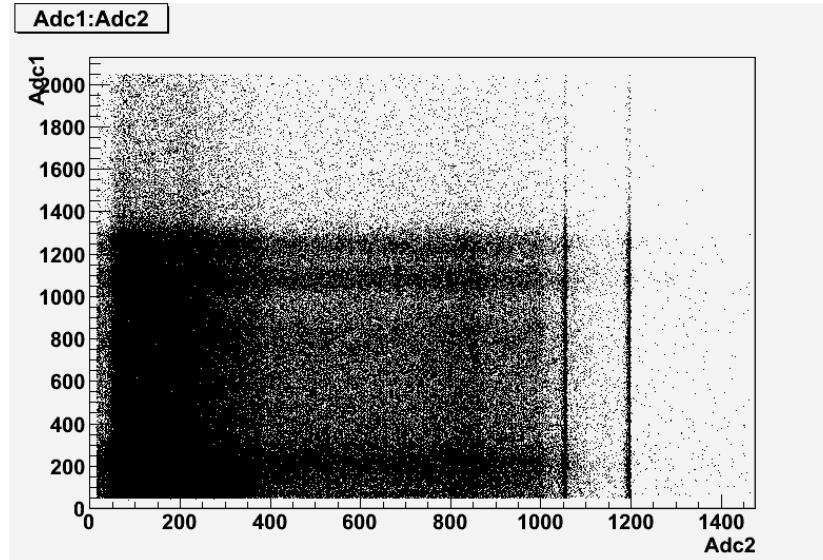


Abbildung 5: Scatter-Plot der Ereignisse an beiden Detektoren

In Abbildung 3 entspricht einem Punkt zwei zeitlich nah aufeinander folgenden Ereignissen in den beiden Detektoren. Auf der X-Achse ist der Ge-Detektor aufgetragen, und auf der Y-Achse der NaJ-Detektor. Um eine quantitative Aussage machen zu können haben wir nun die Anzahl der Ereignisse im Bereich der Peaks untersucht:

Peak Ge-Detektor (i)	Peak NaJ-Detektor (j)	Anzahl Ereignisse ($N_{i,j}$)
1	1	718
1	2	524
2	1	539
2	2	354

Tabelle 4: Anzahl der Ereignisse im Bereich der Peaks

Die Gesamtzahl der Ereignisse im Bereich der Peaks beträgt somit $N_{tot} = 2135$. Die Bereiche wurden dabei so gewählt, dass beim Ge-Detektor die Ereignisse in den Kanälen zwischen 1045 und 1060 für den ersten bzw. 1185 und 1200 für den zweiten Peak gezählt wurden, und beim NaJ-Detektor die Ereignisse zwischen 1010 und 1160 für den ersten und 1180 und 1330 für den zweiten Peak.

Weiter stellen wir nun verschiedene Hypothesen auf, die wir im Anschluss mit dem χ^2 -Test untersuchen und somit die wahrscheinlichste dieser Hypothesen ermitteln.

- Hypothese H_1 : Die Ereignisse sind unkorreliert. Wir erwarten die gleiche Anzahl

Ereignisse in allen Fällen:

$$N_{EW,i,j} = \frac{N_{tot}}{4} \quad (4)$$

- Hypothese H_2 : Die Ereignisse sind unkorreliert, aber wir berücksichtigen dass der zweite Peak kleiner ist als der erste und daher eine geringere Zählrate aufweist. Wir gehen spontan von einem Verhältnis von 6:4 aus.

$$N_{EW,1,1} = 0,6 \cdot 0,6 \cdot N_{tot} = 0,36 \cdot N_{tot} \quad (5)$$

$$N_{EW,1,2} = N_{EW,2,1} = 0,6 \cdot 0,4 \cdot N_{tot} = 0,24 \cdot N_{tot} \quad (6)$$

$$N_{EW,2,2} = 0,4 \cdot 0,4 \cdot N_{tot} = 0,16 \cdot N_{tot} \quad (7)$$

- Hypothese H_3 : Die Ereignisse sind zeitlich korreliert, so dass ein Zerfall der zum 2. Peak beiträgt nur auftritt wenn vorher ein zum 1. Peak beiträgender Zerfall auftrat (oder anders herum). In diesem Fall erwarten wir nur Ereignisse wo ein Detektor ein Ereignis im 1. Peak und der andere eines im 2. Peak registriert hat:

$$N_{EW,1,1} = N_{EW,2,2} = 0 \quad (8)$$

$$N_{EW,1,2} = N_{EW,2,1} = \frac{N_{tot}}{2} \quad (9)$$

Zur Anwendung des χ^2 -Tests ist anzumerken, dass der Fehler in den Zählraten N mit \sqrt{N} ansteigt, da die einzelnen Ereignisse poissonartig verteilt sind. χ^2 nimmt dann die folgende Form an:

$$\chi^2 = \sum_{i,j} \left(\frac{N_{i,j} - N_{EW,i,j}}{\sqrt{N_{i,j}}} \right)^2 \quad (10)$$

Für die oben formulierten Hypothesen ergeben sich damit folgende Werte:

Hypothese	χ^2
H_1	138,4
H_2	5,6
H_3	2153,9

Tabelle 5: χ^2 -Werte für die verschiedenen Hypothesen

Aufgrund unserer Messergebnisse haben wir also allen Grund zur Annahme, dass die Ereignisse nicht korreliert sind. Dies führt auf den Schluss, dass ^{60}Co zwei voneinander unabhängige Zerfallskanäle hat von denen einer leicht bevorzugt ist.

Dies entspricht allerdings nicht der Wirklichkeit. Eigentlich liegt eine Kaskade vor, das heißt wir hätten eine Korrelation beobachten müssen.

Da die gemessenen Energien bereits nicht konsistent zur Kalibrierung sind ist ein gesundes Misstrauen gegen unser Ergebnis der Koinzidenzuntersuchung sicherlich angebracht. Ob es sich dabei an der Wurzel um den gleichen Fehler handelt ist uns unklar, aber in beiden Fällen können wir ihn nicht näher benennen oder behandeln, da uns seine Ursache nicht bekannt ist.

A Spektren von ^{22}Na , ^{57}Co und ^{137}Cs

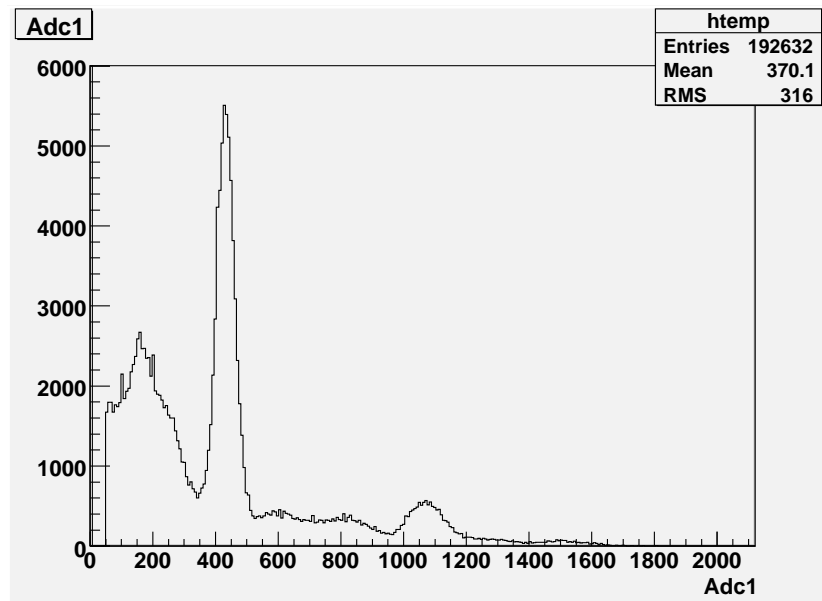


Abbildung 6: ^{22}Na mit NaI-Detektor

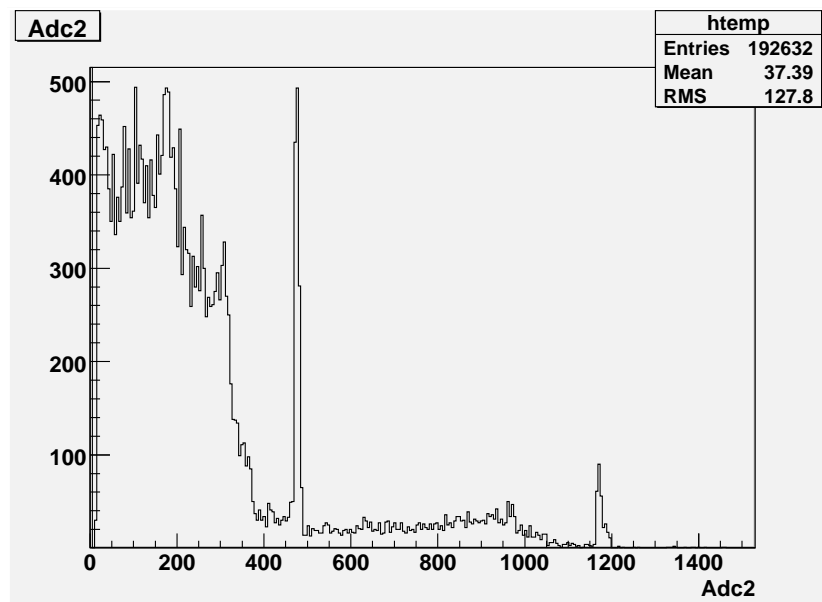


Abbildung 7: ^{22}Na mit Ge-Detektor

A Spektren von ^{22}Na , ^{57}Co und ^{137}Cs

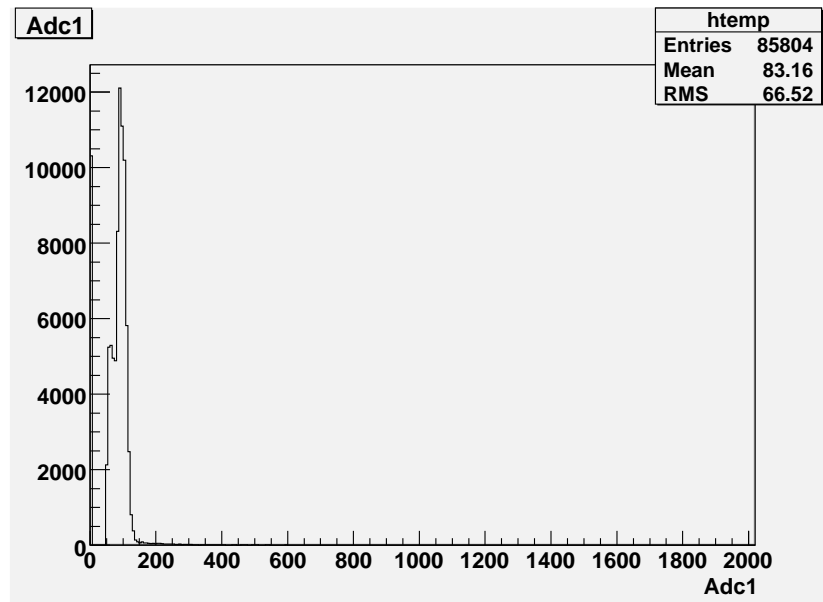


Abbildung 8: ^{57}Co mit NaI-Detektor

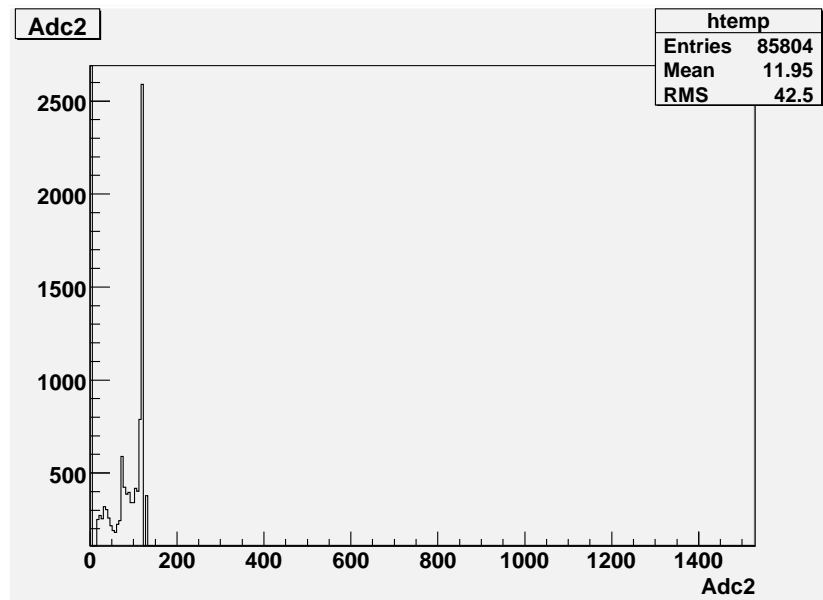


Abbildung 9: ^{57}Co mit Ge-Detektor

A Spektren von ^{22}Na , ^{57}Co und ^{137}Cs

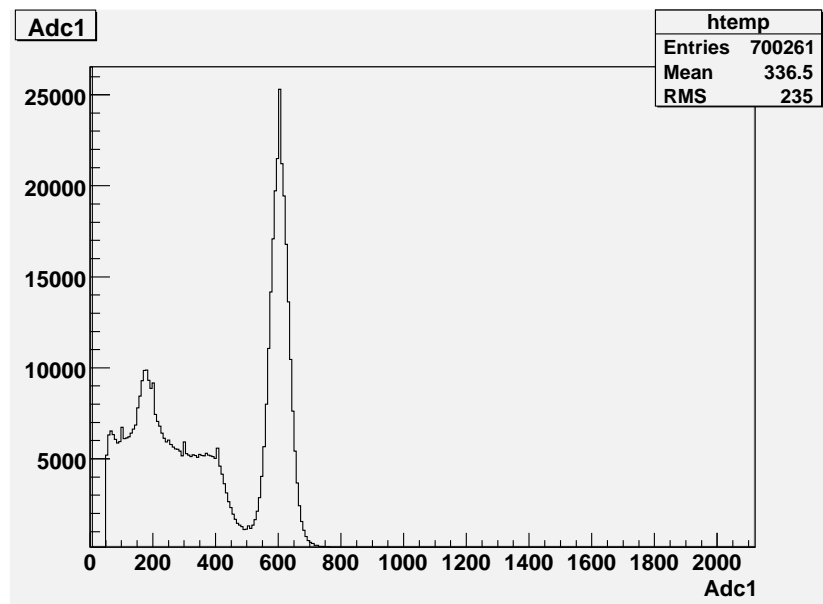


Abbildung 10: ^{137}Cs mit NaJ-Detektor

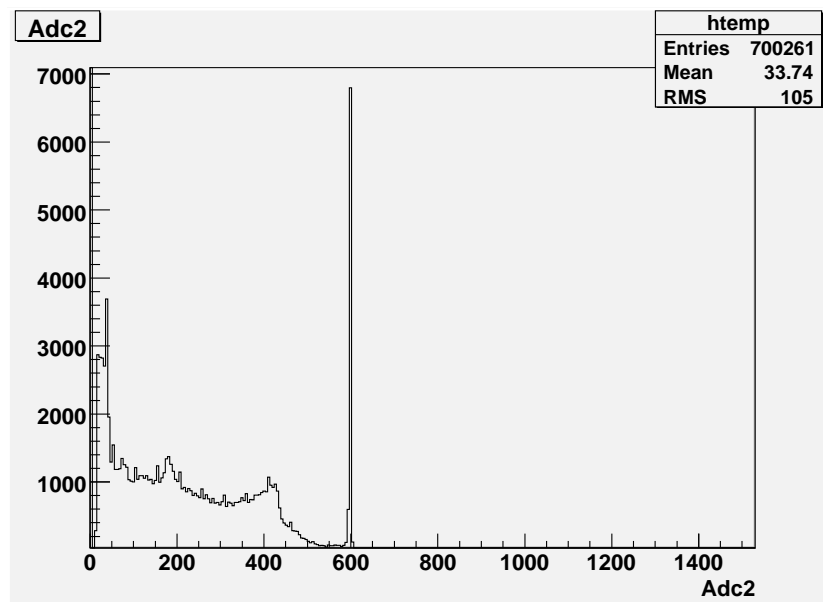


Abbildung 11: ^{137}Na mit Ge-Detektor