

# Fortgeschrittenen-Praktikum I

## Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

# Protokoll zum Versuch

## Kurze Halbwertszeit

Jan Hofmann Frank Sauerburger

30. September und 1. Oktober 2013

jan@meinanolis.de  
frank@sauerburger.net

Tutor: Dr. Susanne Kühn

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>2</b>
1.1 Motivation . . . . .	2
1.2 Theoretische Grundlagen . . . . .	2
1.2.1 Szintillator . . . . .	2
1.2.2 SCA und Verstärker . . . . .	2
1.2.3 TAC . . . . .	2
1.2.4 Eichung von MCA und TAC . . . . .	3
1.2.5 Verzögerte Koinzidenz . . . . .	3
1.3 Aufbau . . . . .	3
1.3.1 Aufnahme der Spektren . . . . .	3
1.3.2 Ermitteln der Lebensdauern . . . . .	3
1.3.3 Eichung des TAC . . . . .	5
<b>2 Messung</b>	<b>5</b>
2.1 Signalverlauf . . . . .	5
2.2 Aufnahme der Spektren . . . . .	6
2.3 Verzögerte Koinzidenz . . . . .	7
2.3.1 Rechter Detektor . . . . .	8
2.3.2 Linker Detektor . . . . .	8
2.3.3 TAC und Computer . . . . .	8
2.4 Zufällige Koinzidenz . . . . .	8
2.5 Kalibrierung des TAC . . . . .	9
2.5.1 Delay durch externe Delays . . . . .	9
2.5.2 Delay durch internen Delay der SCA . . . . .	10
<b>3 Auswerung</b>	<b>10</b>
3.1 Aufnahme der Spektren . . . . .	10
3.2 Zeit Eichung . . . . .	13
3.3 Koinzidenz Messung . . . . .	14
3.3.1 Exponentieller Fit . . . . .	14
3.3.2 Linearer Fit . . . . .	15
<b>4 Fazit</b>	<b>17</b>
4.1 Aufnahme der Spektren . . . . .	17
4.2 Zeit Eichung . . . . .	17
4.3 Koinzidenz Messung . . . . .	17
<b>A Anhang</b>	<b>18</b>
A.1 Scan der Messaufzeichnungen . . . . .	18
A.2 Spektren . . . . .	23

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Wir wollen in diesem Experiment die Halbwertszeit des 14,4keV Zustand von  $^{57}\text{Fe}$  messen. Das Problem ist, dass ähnlich wie im LHWZ-Versuch die Halbierung der Aktivität nicht beobachtet werden kann, nur diesmal nicht weil sie zu lang ist, sondern weil sie viel zu kurz ist. Die Anleitung[3] gibt eine Halbwertszeit von 98ns an. Das entspricht einer Entfernung von nur 27m, die das Licht in dieser Zeit zurück legt. In einem Koaxialkabel wie wir sie im Versuch verwenden, beträgt die Entfernung wegen der reduzierten Lichtgeschwindigkeit nur noch ca. 18m[1]. Um nun doch die Halbwertszeit messen zu können, werden wir uns den Zeitunterschied zwischen dem Zerfall zu diesem Zustand und von diesem Zustand ansehen.

## 1.2 Theoretische Grundlagen

### 1.2.1 Szintillator

Ein Szintillator ist in der Teilchenphysik ein beliebtes Nachweisinstrument. Es ermöglicht die Detektierung von  $\gamma$ -Quanten. Dabei kann sowohl die Energie als auch der genaue Zeitpunkt gemessen werden.

Trifft ein  $\gamma$ -Quant das Szintillatormaterial, in unserem Versuch ist das NaI, wird dieses angeregt und emittiert Photonen mit einer Wellenlänge, für die das Material möglichst durchlässig ist. Die so entstandenen Photonen können in einem Photomultiplier verstärkt und mit einem Vorverstärker in eine elektrische Signale umgewandelt werden. Anhand der Signalhöhe bzw. des Integrals kann die Energie der  $\gamma$ -Quanten bestimmt werden.

### 1.2.2 SCA und Verstärker

Der Single Channel Analyser (SCA) und der Verstärker dienen der weiteren Verarbeitung der Signal der Szintillatoren. Der Verstärker verstärkt die noch recht schwachen Signal der Vorverstärker und ‘shaped’ diese. Der SCA integriert nun schließlich über diese Impulse und entscheidet, ob die Energie der Quanten ein Lower-Level überschreitet, aber gleichzeitig ein Upper-Level unterschreitet. Das Ausgangssignal ist ein digitaler Impuls, der aussagt, ob ein Teilchen mit einer gewissen Energie detektiert wurde.

### 1.2.3 Time Amplitude Converter

Der Time Amplitude Converter (TAC) wandelt die zeitliche Verzögerung zwischen dem Start- und dem Stop-Eingang in einem Impuls um. Die Verzögerung bestimmt dabei die Intensität des Impulses. Schaltet man nun ein Multi-Channel-Analyser (MCA) dahinter, werden den einzelnen Kanäle des MCA Zeitspannen zugeordnet. Diese Verknüpfung machen wir uns im Versuch zunutze.

#### 1.2.4 Eichung von MCA und TAC

Wir nehmen die typischen Linien von  $^{57}\text{Co}$  und  $^{241}\text{Am}$  auf um damit zu bestimmen welcher Kanal des Multi Channel Analyser welcher Energie entspricht. Man kann davon ausgehen, dass sich die Kanäle linear zu der Energie verhält. Das führt uns zu der Gleichung:

$$E(C) = a \cdot C + b \quad (1)$$

Mit  $C$  dem Kanal und  $a$  und  $b$  zwei freien Parametern, die noch bestimmt werden müssen.

Ganz ähnlich muss der MCA auch in Verbindung mit dem TAC (1.2.3) geeicht werden. Es müssen den Kanälen des MCAs diesmal aber Zeitspannen zugeordnet werden. Auch hier kann wieder angenommen werden, dass sich der Aufbau linear verhält und kommen daher wieder auf eine Gleichung

$$t(C) = a \cdot C + b. \quad (2)$$

Für die Spätere Umrechnung benötigen wir den  $y$ -Achsenabschnitt jedoch gar nicht.

#### 1.2.5 Verzögerte Koinzidenz

Das Messprinzip beruht darauf, dass eine  $\gamma$ -Quant der Energie 122keV ausgesandt wird, sobald ein Atom in den 14.4keV Zustand zerfällt und ein Quant mit der Energie 14.4keV ausgesandt wird, sobald ein Atom in den Grundzustand fällt. Das heißt man könnte die Zeit zwischen diesen beiden Quanten stoppen. Da das 14.4keV Quant nur selten (10% [3]) ausgesandt wird, würde sich die Totzeit stark erhöhen. Deshalb wird das 122keV Signal verzögert und als Stoppsignal verwendet und das 14.4keV als Startsignal. Dieses Verfahren nennen wir verzögerte Koinzidenz.

### 1.3 Aufbau

#### 1.3.1 Aufname der Spektren

In Abbildung 1 ist der Aufbau für die erste Messreihe schematisch dargestellt. Mit ihr werden wir eine Kalibrierung des Multi Channel Analyser vornehmen. Es muss jedem Kanal eine Energiespanne zugeordnet werden. Dies brauchen wir später um die Start- und Stop-Zerfälle für 1.3.2 einzufügen. Mehr dazu in Abschnitt 1.2.4. Außerdem eignet sich der Aufbau um den Signalverlauf, wie schon im Experiment des Szintillators, zu betrachten.

#### 1.3.2 Ermitteln der Lebensdauern

In Abbildung 2 sieht man schematisch den Aufbau der zweiten Messreihe. Wie in der Abbildung zu sehen haben wir uns entgegen des Vorschlags der Anleitung dagegen entschieden die externen Delays zu verwenden und haben stattdessen den internen Delay des SCA verwendet. Wir haben diese Entscheidung getroffen, da die

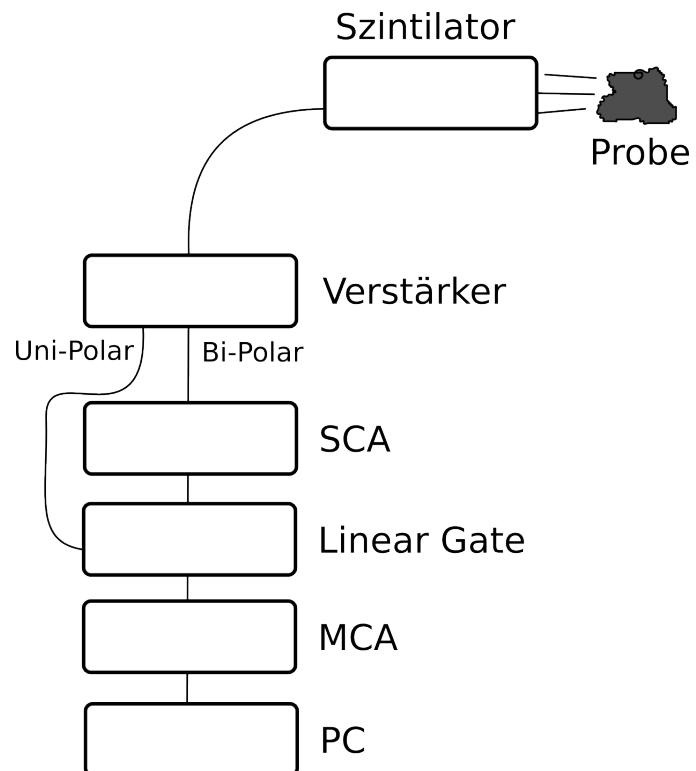


Abbildung 1: Aufbau für erste Versuchsreihe (Spektren)

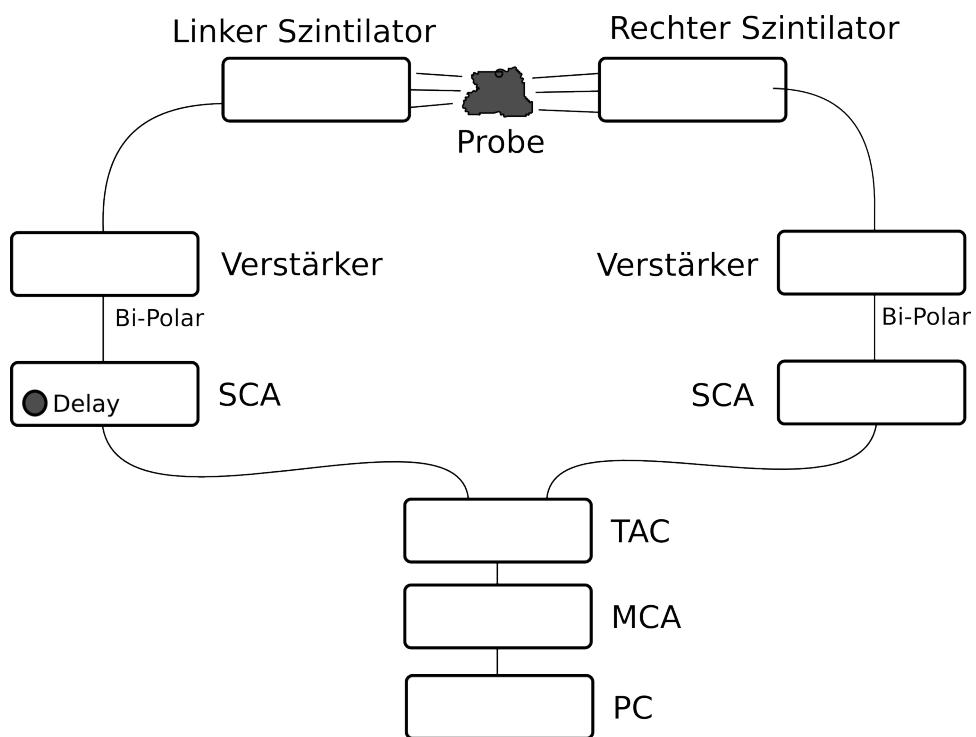


Abbildung 2: Aufbau für zweite Versuchsreihe (Lebensdauern)

Summe aller externen Delays nur 190,5ns ergab, was uns aber zu kurz erschien und wir nicht interne und externe Delays mischen wollten. Eine Kombination lässt sich möglicherweise nicht Eichen, und wäre eine Ursache von systematischen Fehlern.

### 1.3.3 Eichung des TAC

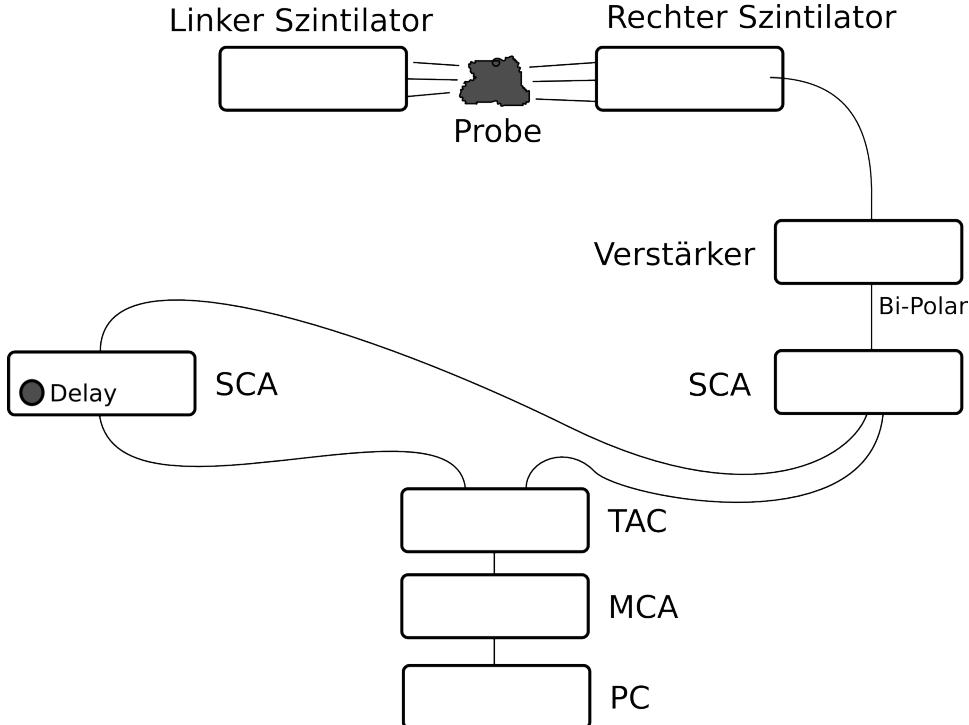


Abbildung 3: Aufbau für dritte Versuchsreihe (Zeiteichung)

In Abbildung 3 kann man eine schematische Abbildung des Versuchsaufbaus zur Eichung des TAC sehen. Wie in 1.2.4 erklärt wird hier eine Umrechnung zwischen Kanal und Zeit ermittelt. Dafür haben wir das Signal eines Szintillators nach dem ersten SCA aufgeteilt. Der eine Zweig geht, wie in der Abbildung 3 zu sehen, direkt in den Start-Eingang des TAC. Der andere wird erst durch den anderen SCA geführt, der für unterschiedliche Verzögerungseinstellungen gemessen wird und gelangt dann auch in den TAC. So kann (2) ermittelt werden.

## 2 Messung

### 2.1 Signalverlauf

Bei vor dem Szintillator platziertem  $^{57}\text{Co}$  -Probe, haben wir das Signal nach dem im Szintillator eingebauten Vorverstärker (Abbildung 4) und nach dem Hauptverstärker (Abbildung 5 unipolarer Ausgang, Abbildung 6 bipolarer Ausgang) mit einem Oszilloskop betrachtet. Verwendet wurde dabei nur der rechte Szintillator.

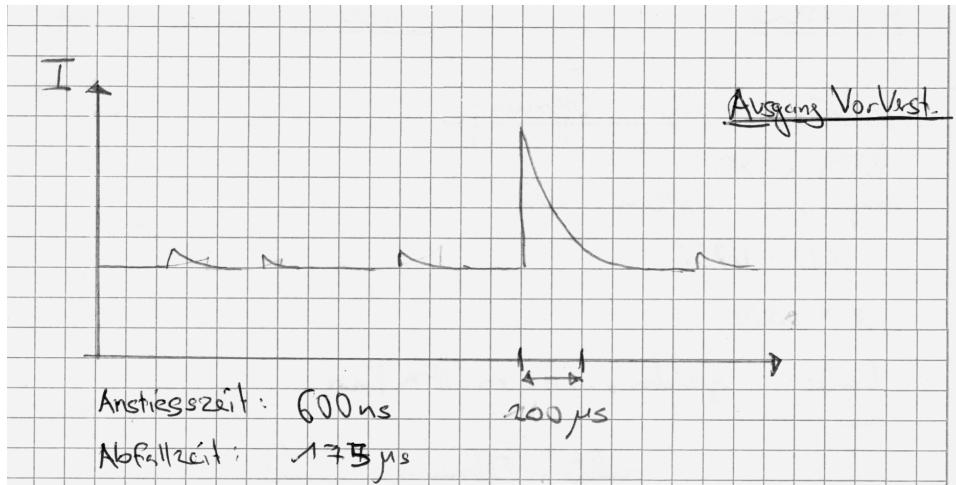


Abbildung 4: Abgezeichnetes Signal des Vorverstärkers der im rechten Szintillator eingebaut ist.

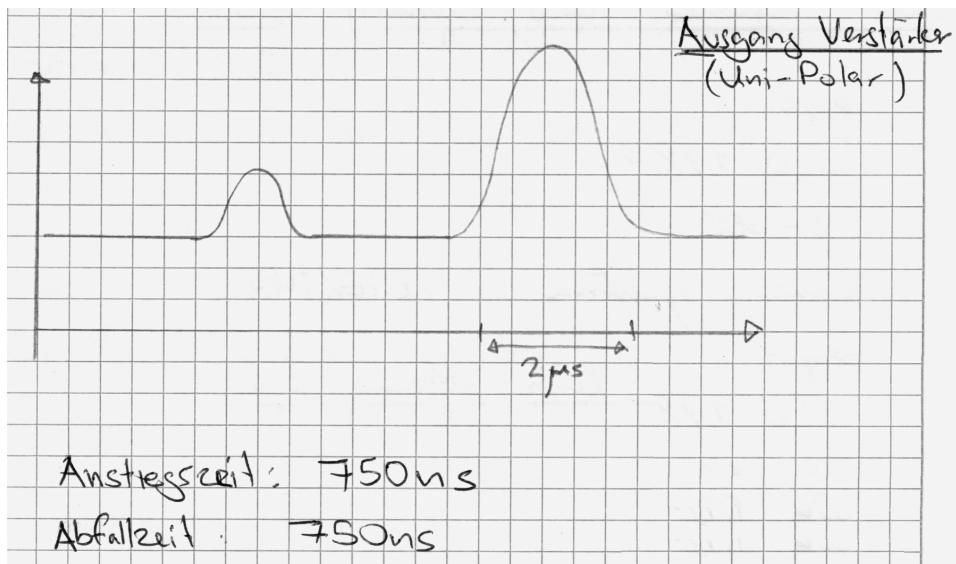


Abbildung 5: Abgezeichnetes Signal des Hauptverstärkers am Uni-Polarem Ausgang

Diese Scans sind zur Übersichtlichkeit leicht grafisch verändert. Der Orginalscan ist im Anhang in Abbildung 13 eingefügt.

## 2.2 Aufnahme der Spektren

Wir haben Spektren mit beiden Szintillatoren und mit beiden möglichen Orientierungen der Probe aufgenommen, um zu erfahren, welche sich am besten für die weiteren Messungen eignet. Dabei haben wir den Aufbau aus Abbildung 1 verwendet. Den SCA haben wir dabei schon eingebaut, damit das Spektrum später beim setzen der Fenster nicht verzerrt wird. Wir haben folgende Einstellung verwendet.

Verstärkung 2,00 bei 200

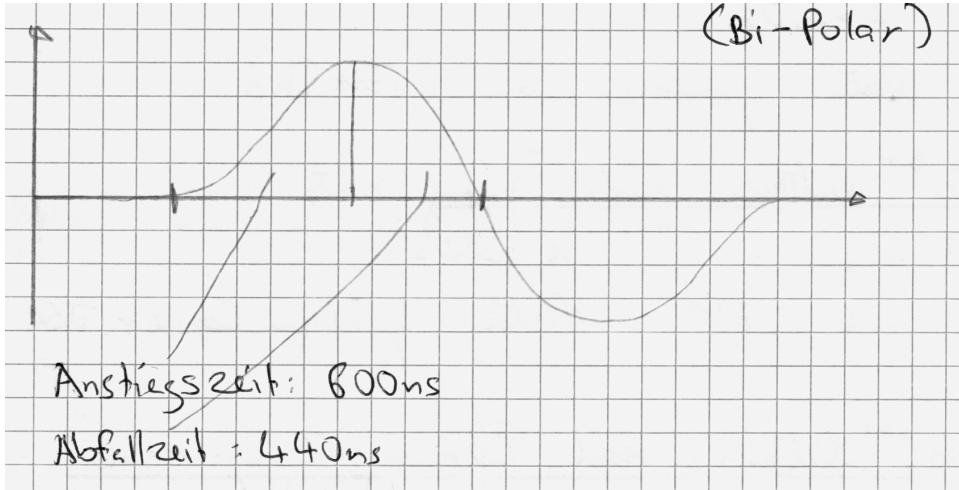


Abbildung 6: Abgezeichnetes Signal des Hauptverstärkers am Bi-Polarem Ausgang

LLD <sup>1</sup>	1,7%
Messzeit $t$	300s
SCA Window	ganz Offen

Die Spektren wurden wie folgt abgespeichert<sup>2</sup> Die Orginalaufzeichnungen sind im Anhang in Abbildung 14 eingefügt.

Probe	Detektor Wahl	Orientierung der Probe	Dateiname
$^{57}Co$	rechts	rechts	Spektrum_Co_rr.TKA
$^{57}Co$	rechts	links	Spektrum_Co_rl.TKA
$^{57}Co$	links	links	Spektrum_Co_ll.TKA
$^{57}Co$	links	rechts	Spektrum_Co_lr.TKA
$^{241}Am$ <sup>3</sup>	rechts	rechts	Spektrum_Am_rr.TKA

### 2.3 Verzögerte Koinzidenz

Aufgrund der Spektren aus dem vorherigen Versuchsteil haben wir uns dafür entschieden, dass die Öffnung der Probe nach rechts zeigen soll, und für die Messung des 14.4keV verwenden wir den rechten Detektor. Wir nennen diese Konfiguration ab sofort "rechts-rechts". Der Aufbau ist in Abbildung 2 dargestellt.

Damit das Start bzw. Stoppsignal nur von  $\gamma$ -Quanten der richtigen Energie ausgelöst werden kann, setzen wir die Fenster (engl. Windows bestehend aus Lower

<sup>1</sup>Low Level Discriminator. Die Anleitung[3] schlägt 4% vor wir haben aber festgestellt, dass 1,7% den ersten Peak besser auflöst.

<sup>2</sup>Unter <https://github.com/esel7353/FP-I/tree/master/KHWZ/data> stehen alle Daten zur Verfügung.

<sup>3</sup>Wir haben festgestellt, dass die Kombination rechts – rechts am besten auflöst, daher haben wir für  $^{241}Am$  diese Orientierung gewählt.

und Upper-Level) der jeweiligen Szintillatoren so, dass alle anderen Photonen ignoriert werden. Die Lage der jeweiligen Photonen kennen wir seit der letzten Messung.

### 2.3.1 Rechter Detektor

Die Einstellung des rechten Detektors sind wie folgt. Dieser Detektor soll die Photonen mit 14.4keV messen und liefert das Startsignal.

Upper	0,96
Lower	0,56
Verstärkung	2,00 bei 200
Delay	aus

### 2.3.2 Linker Detektor

Die Einstellungen des linken Detektors sind wie folgt. Dieser Detektor soll die Photonen mit 122keV messen und liefert das verzögerte Stoppsignal.

Upper	4,74
Lower	3,80
Verstärkung	5,75 bei 200
Delay	1,1 $\mu$ s (rein intern)

### 2.3.3 TAC und Computer

Beim TAC und am Computer wurde folgende Einstellungen verwendet.

Range	0,2 $\times$ 10
Amplitude	senkrecht nach oben
LLD	1,7%
Messzeit $t$	18,5h
Deteiname	verzKoinz.TKA

## 2.4 Zufällige Koinzidenz

Um den Untergrund der Koinzidenzmessung zu bestimmen, d.h. die zufälligen Koinzidenzen, haben wie eine Untergrundsmessung durchgeführt. Dazu wurde die Delays verstellt, so dass nicht mehr der Stufenweise Zerfall den TAC startet und stoppt.

Gleiche Einstellungen, wie in 2.3 außer Delays.

rechter Delay	500ms
linker Delay	aus
Messzeit	21,45h
Deteiname	zufKoinz.TKA

## 2.5 Kalibrierung des TAC

Um den TAC zu kalibrieren wurden externe Delays und, wie in Abbildung 3, die internen Delays der SCA verwendet. Damit konnten wir ein bestimmtes Delay einstellen und am PC beobachten, welcher Kanal angesprochen wird. Window und Verstärkung wie in 2.3, TAC-Einstellungen wie in 2.4. Die Werte sind in den beiden nachfolgenden Sektionen abgedruckt.

### 2.5.1 Delay durch externe Delays

Delay durch Differenz der Kabellänge  $\Delta t = 3 \cdot 8\text{ns}$  ist anhand der aufgedruckten Werte bestimmt. Diese Differenz ist schon auf die Messwerte addiert.

Delay/ns	Kanal
190+24	156,5 <sup>4</sup>
158+24	133
126+24	110
94+24	87
62+24	68
31+24	52
0+24	37
16+24	44
48+24	60
80+24	78,5 <sup>4</sup>
112+24	—
0+0	30 <sup>5</sup>

---

<sup>4</sup>zwei etwa gleich hohe Kanäle – daher Mittelwert.

<sup>5</sup>mit gleichlangen Kabeln also  $\Delta t = 0$ .

### 2.5.2 Delay durch internen Delay der SCA

Delay/ns	Kanal
200	533
100	517
300	667
400	741
500	817
600	830
700	966
800	außerhalb

## 3 Auswerung

### 3.1 Aufnahme der Spektren

Wie in 2.2 beschrieben, haben wir für verschiedene Orientierungen der Proben und unter Verwendung verschiedenen Detektoren die Spektren aufgenommen. Diese sind hier in den Abbildungen 7 und 8 bzw. im Anhang in den Abbildungen 18, 19 und 20 zu finden. Dabei haben wir die Zählraten  $n(C) = N(C)/t$  aufgetragen, wobei  $N(C)$  die Anzahl der Ereignisse im Kanal  $C$  und  $t$  die Messdauer ist. Da  $N(C)$  eine Poisson-verteilte Größe ist, ist dessen Unsicherheit  $s_{N(C)} = \sqrt{N(C)}$ . Die Unsicherheit der Rate  $n$  ist dann durch  $s_{n(C)} = \sqrt{N(C)}/t$  gegeben. Diese Unsicherheit ist in den Diagrammen eingezeichnet.

Wir haben uns anhand der Spektren der verschiedenen Orientierungsmöglichkeiten der Probe und Wahl des Szintillator für die Kombination rechts – rechts entschieden. Rechts – rechts bedeutet in diesem Fall, dass die Probe mit der Öffnung nach *rechts* zwischen den Szintillatoren liegt und der *rechte* Szintillator verwendet wurde. Wir haben diese Wahl getroffen, da dies die einzige Einstellung war, die Peak 3 und 4, wie in Abbildung 7 sichtbar, getrennt aufgenommen hat. Mit der gleichen Einstellung haben wir daraufhin das  $^{241}\text{Am}$  Spektrum aufgenommen. In Abbildung 8 ist dieses Spektrum gezeigt.

In den beiden Abbildungen wurden die klar getrennten Peaks mit einem Gauß gefittet.

$$n(C) = A \exp \left( -\frac{1}{2} \frac{(C - C_c)^2}{\sigma^2} \right) \quad (3)$$

wobei  $A$  die maximale Zählrate,  $\sigma$  die Standardabweichung des Peaks und  $C_c$  der Mittelpunkt des Peaks ist. Im Falle der Doppelpeaks, haben wir die Summe  $n(C) = n_1(C) + n_2(C)$  zweier Gaußkurven mit unabhängigen Parametern gefittet. Die Werte für  $C_c$  sind die den Abbildungen als  $C_i$  mit  $i$  der Peaknummer aufgelistet. Die

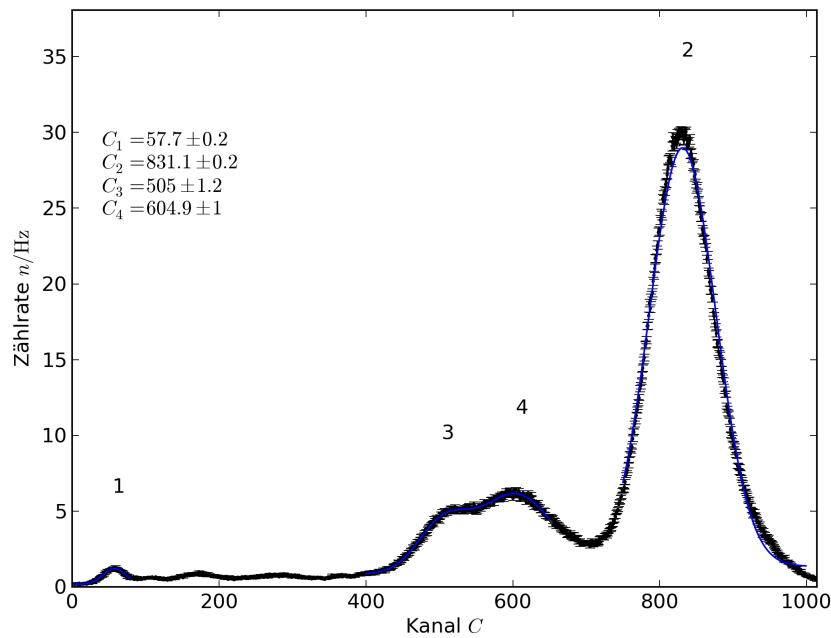


Abbildung 7: Aufnahme des  $^{57}\text{Co}$  Spektrums in rechts – rechts Einstellung. Peak 3 und 4 sind deutlich getrennt wahrnehmbar.

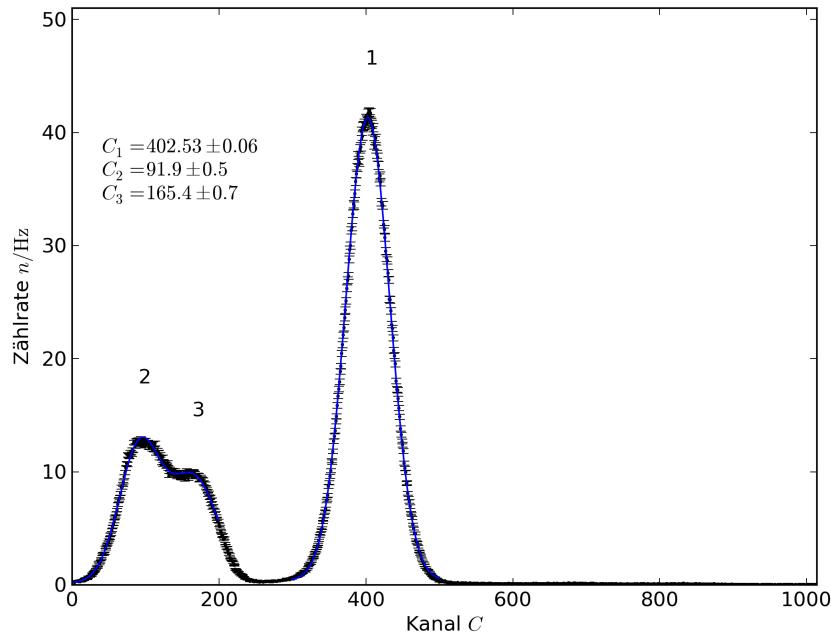


Abbildung 8:  $^{241}\text{Am}$  Spektrum in rechts – rechts Einstellung

Probe	Peak-Nr.	Kanal $C$	Energie $E/\text{keV}$ [3]
$^{57}\text{Co}$	1	$57.7 \pm 0.2$	14.4
$^{57}\text{Co}$	2	$831.1 \pm 0.2$	122
$^{241}\text{Am}$	1	$402.53 \pm 0.06$	59.5

Tabelle 1: Zuordnung der Kanäle und Energien für die Eichung.

angegebenen Fehler sind die Unsicherheiten der Fitparameter.

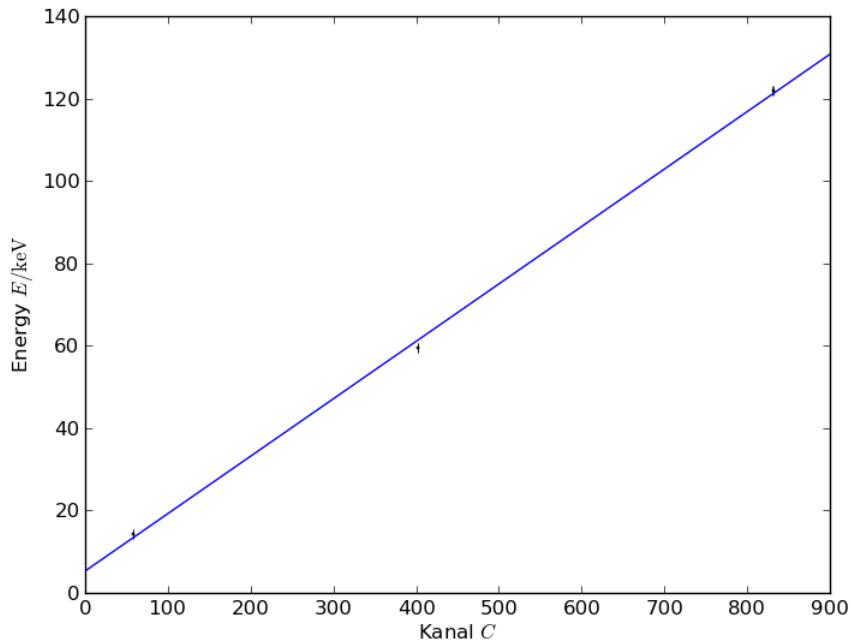


Abbildung 9: Eichgerade für die Umrechnung Kanal in Energie für den MCA. Unsicherheit des Kanals ist die Unsicherheit des Gaußfits.

Um eine Energiedurchzuführung haben wir die in Tabelle 1 dargestellten Energiedaten verwendet. In Abbildung 9 haben wir die Energie-Kanal-Paare aufgetragen und gemäß (1) linear gefitett. Dies lieferte uns das Ergebnis für die Eichgerade:

$$E(C) = (139 \pm 4)\text{eV} \cdot C + (5 \pm 2)\text{keV} \quad (4)$$

Für die weiteren 4 Peaks können wir nun die Energie berechnen. Dafür verwenden wir Gleichung (4) und mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung erhalten wir

$$\sigma_E = \sqrt{(a \cdot \sigma_C)^2 + (C \cdot \sigma_a)^2 + \sigma_b^2} \quad (5)$$

die Unsicherheit der Energie. Hier ist  $a$  die Steigung und  $b$  der  $y$ -Achsenabschnitt so wie in (1) benannt. Die Energien der Peaks sind wie folgt.

$^{57}\text{Co}$	Peak 3	$(75, 195 \pm 2)\text{keV}$
$^{57}\text{Co}$	Peak 4	$(89, 0811 \pm 2)\text{keV}$
$^{241}\text{Am}$	Peak 2	$(17, 7741 \pm 0, 4)\text{keV}$
$^{241}\text{Am}$	Peak 3	$(27, 9906 \pm 0, 7)\text{keV}$

Peak 3 von  $^{241}\text{Am}$  könnte der in der Anleitung[3] genannte Escape-Peak von 28keV sein. Ansonsten erwarten wir bei  $^{57}\text{Co}$  noch einen Peak bei 136,6 keV. Dieser liegt aber vermutlich außerhalb des Messbereichs. Für  $^{241}\text{Am}$  erwarten wir noch die Peaks 33,2 und 26,3 keV. Unsere gemessenen Peaks sind dafür aber zu klein. Wir erarbeiten nicht nur Photopeaks im Szintillator, sondern auch den bereits erwähnten Escapepeak, die Compton-Kante, den Rückstreupeak und den Röntgen-Fluoreszenzpeak. Daher ist es schwer die Peaks zuzuordnen.

### 3.2 Zeit Eichung

Wie schon in 1.2.3 angesprochen müssen wir auch für die Zeit eine Eichung vornehmen. Analog zu 3.1 nehmen wir auch hier ein Histogramm auf, für dass wir die Position der Peaks kennen. Nur, dass diese diesmal nicht durch Materialeigenschaften festgelegt sind, sondern durch das von uns festgelegte Delay. Wir bekommen also wieder Wertepaare, die wir linear fitten können. Diese sind in 2.5 aufgeführt. Dabei haben wir einmal externe Delays verwendet und einmal den internen des SCA, da diese eine größeren Wertebereich abdecken können. Die Wertepaare sind in Grafik 10 gegeneinander aufgetragen und wie schon in 3.1 linear gefittet.

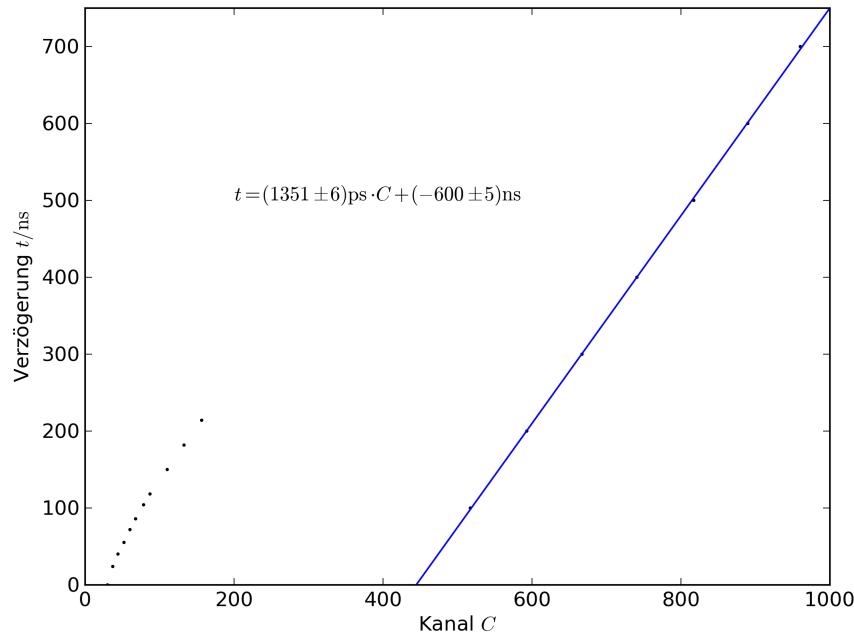


Abbildung 10: linear gefittete Eichgerade des TAC

Dabei hatten wir zwar erwartet einen unterschiedlichen  $y$ -Achsenabschnitt bei den zwei Messreihen, intern-extern, zu bekommen. Der Grund dafür ist, dass der SCA von sich aus schon eine Verzögerung mitbringt, die sich nicht ändern lässt. Nicht zu erwarten jedoch sind zwei unterschiedliche Steigungen. Auffällig ist zudem noch, dass die Werte der externen Delays (links in 10) nicht-lineare Tendenzen zeigen. Da wir die Messung zur Bestimmung der mittleren Lebensdauer ohne die externen Delays durchgeführt haben und wir die externen Delays nur zusätzlich gemessen hatten, in der Hoffnung unsere Genauigkeit zu verbessern, brauchen wir diese Punkte nicht und lassen sie außer acht. Für die Spätere Umrechnung benötigen wir den Achsenabschnitt nicht, sondern nur die Steigung, die wir gut aus diesem Fit bestimmen können.

Das Ergebnis des linearem Fits ist

$$t(C) = (1351 \pm 6)\text{ps} \cdot C + (-600 \pm 5)\text{ns}. \quad (6)$$

### 3.3 Koinzidenz Messung

Da die zufällige Koinzidenzrate  $n_z(C) = N_z(C)/t_z$  die Messung verfälschen, ziehen wir diese von den verzögerten Koinzidenzen  $n_v(C) = N_v(C)/t$  ab:  $n(C) = n_v(C) - n_z(C)$ . Da  $N_z$  und  $N_v$  beide Poisson-verteilte Größen sind, ergibt sich mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung die Unsicherheit zu

$$s_{n(C)} = \sqrt{\frac{N_z}{t_z^2} + \frac{N_v}{t^2}}. \quad (7)$$

#### 3.3.1 Exponentieller Fit

Die so von den zufälligen Koinzidenzen bereinigten Zählraten und deren Unsicherheiten sind in Abbildung 11 dargestellt. Wir fitten die Zählraten mit einer Exponentialfunktion

$$n(C) = \exp\left(\frac{C - m}{\tau_C}\right) \cdot \text{Hz} \quad (8)$$

wobei  $m$  den Kanal angibt, bei dem die Zählrate 1Hz beträgt.  $\tau_C$  bezeichnet die Lebensdauer des Zustandes gemessen in Kanälen. Der Fit liefert

$$\tau_C = 104.8 \pm 0.4 \quad (9)$$

Um nun die Lebenszeit  $\tau$  zu bestimmen müssen wir  $\tau_C$  mit (6) umrechnen, wobei nur die Steigung eine Rolle spielt.

$$\tau = a \cdot \tau_C = (1351 \pm 6)\text{ps} \cdot \tau_C = 141.6\text{ns} \quad (10)$$

$$s_\tau = \sqrt{s_{\tau_C}^2 a^2 + \tau_C^2 s_a^2} = 0.8\text{ns} \quad (11)$$

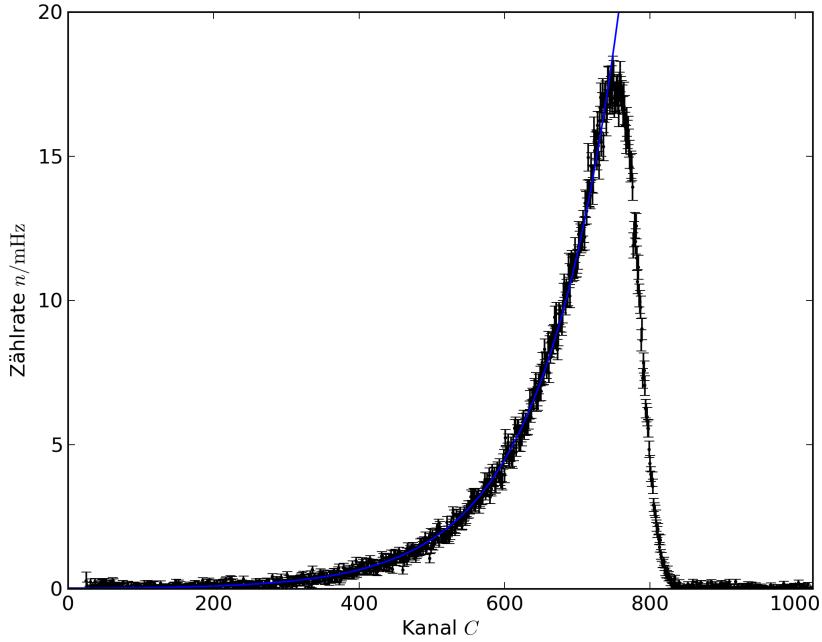


Abbildung 11: Zählrate der verzögerten Koinzidenzen (ohne zufälligen) mit exponentiellem Fit

Die Halbwertszeit erhält man nun schließlich durch Multiplikation mit  $\log 2$ .

$$T_{1/2} = \tau \log 2 = (141.6 \pm 0.6)\text{ns} \cdot \log 2 = (98.1 \pm 0.6)\text{ns} \quad (12)$$

Dieser Wert stimmt hervorragend mit dem Literaturwert [3] von  $T_{1/2} = 98\text{ns}$  überein.

### 3.3.2 Linearer Fit

Wir tragen nun die von den zufälligen Koinzidenzen bereinigten Zählraten und deren Unsicherheiten in einem logarithmischen Plot auf, siehe Abbildung 12. Wie erwartet lassen sich unsere Daten nun durch eine Gerade beschreiben. Wir haben die Daten mit folgender Funktion gefüttet.

$$\log_{10}(n(C)/\text{Hz}) = aC + b \quad (13)$$

In Abbildung 12 ist die Fitgerade  $\log_{10}(n(C)/\text{Hz})$  als  $10^{\log_{10}(n(C)/\text{Hz})} = n(C)/\text{Hz}$  logarithmisch aufgetragen. Der Fit liefert

$$a = (4.23 \pm 0.02) \cdot 10^{-3} \quad (14)$$

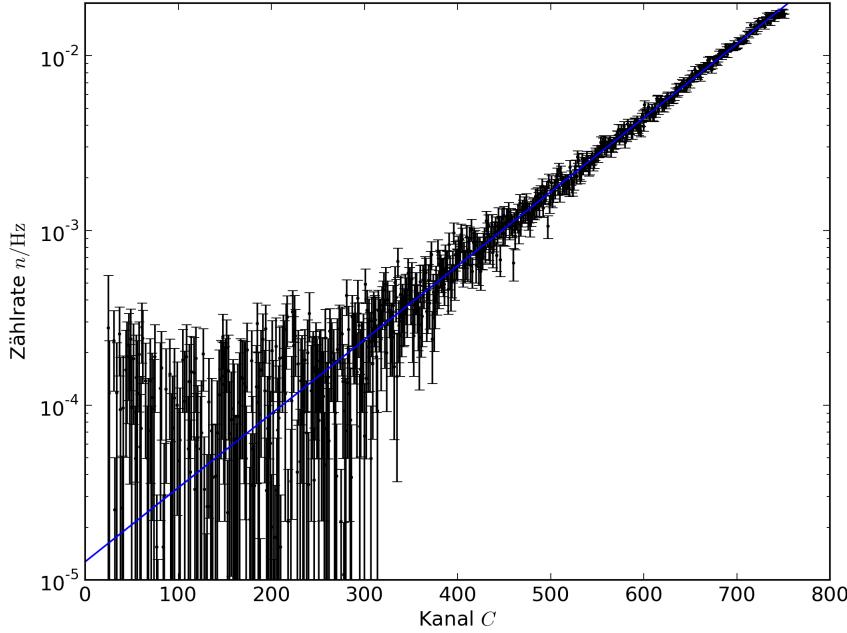


Abbildung 12: Zählrate der verzögerten Koinzidenzen (ohne zufälligen) logarithmisch aufgetragen.

Durch Umformung erkennt man, dass man die Lebenszeit in Kanälen  $\tau_C$  aus der Steigung  $a$  berechnen kann.

$$\log_{10}(n(C)/\text{Hz}) = aC + b \quad (15)$$

$$\Leftrightarrow (n(C)/\text{Hz}) = 10^{aC} \cdot 10^b \quad (16)$$

$$\Leftrightarrow (n(C)/\text{Hz}) = e^{aC \log 10} \cdot 10^b \quad (17)$$

$$\implies \tau_C = \frac{1}{a \log 10} = 102.6 \pm 0.5 \quad (18)$$

Den Fehler der Lebenszeit  $\tau_C$  lässt sich hierbei mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung bestimmen.

$$s_{\tau_C} = \frac{1}{a^2 \log 10} s_a \quad (19)$$

Die Umrechnung zur Lebensdauer  $\tau$  und Halbwertszeit  $T_{1/2}$  erfolgt analog wie beim exponentiellen Fit und ergibt

$$T_{1/2} = (96,0 \pm 1.3)\text{ns} \quad (20)$$

Dieser Wert liegt außerhalb der Standardabweichung zum Literaturwert [3]. Dies lässt sich dadurch erklären dass die statistischen Schwankungen im unteren Bereich stärker ins Gewicht fallen, im Vergleich zum exponentiellen Fit, weil der Abstand

der Punkt zur Kurve hier viel größer ist, als im oberen Bereich.

## 4 Fazit

### 4.1 Aufnahme der Spektren

Wir haben für die Eichung des MCA die Energie von drei bekannten Peaks verwendet. So haben wir die Eichgerade

$$E(C) = (139 \pm 4)\text{eV} \cdot C + (5 \pm 2)\text{keV}$$

erhalten. Wenden wir dies auf die vier noch unbekannten Peaks an erhalten wir.

<sup>57</sup> Co	Peak 3	(75, 195 ± 2)keV
<sup>57</sup> Co	Peak 4	(89, 0811 ± 2)keV
<sup>241</sup> Am	Peak 2	(17, 7741 ± 0, 4)keV
<sup>241</sup> Am	Peak 3	(27, 9906 ± 0, 7)keV

Diese Werte zuzuordnen hat sich jedoch als schwierig herausgestellt.

### 4.2 Zeit Eichung

Für die Eichung des TAC und MCA haben wir folgende Gerade ermittelt.

$$t(C) = (1351 \pm 6)\text{ps} \cdot C + (-600 \pm 5)\text{ns}. \quad (21)$$

Interessanter Weise hat sich hier das interne Delay des SCA als genauer erwiesen als unser Aufbau mit den externen. Erwartet haben wir das nicht, vor allem da wir uns viel Mühe gegeben haben Fehler z.B. durch ungleichlange Kabel auszuschließen.

### 4.3 Koinzidenz Messung

Unsere Messung der Lebensdauer für den 14,4keV-Zustand ergab

$$\tau_C = (98.1 \pm 0.6)\text{ns} \quad (22)$$

Dieser Wert stimmt hervorragend mit den in der Anleitung[3] gegebenen Wert von 98ns überein. Der Wert durch den linearen Fit ist nicht so gut.

## A Anhang

### A.1 Scan der Messaufzeichnungen

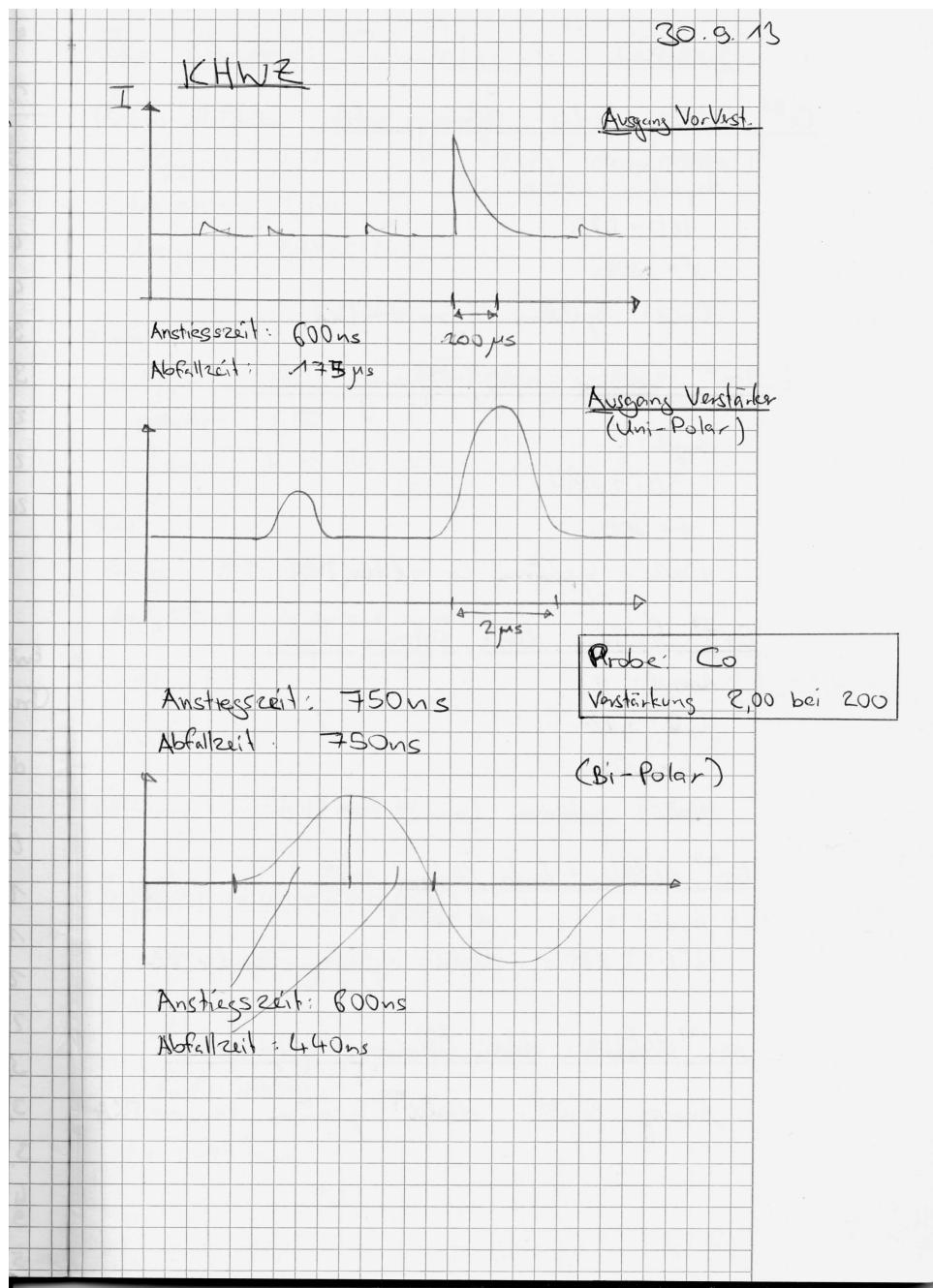


Abbildung 13: Seite 1 der Messaufzeichnungen.

## Spektren

$\text{Co}^{57}$  Detektor: rechts; Öffnung: rechts

Amplifiz: 2.00 bei 200

LLD: 1,7%

t = 300s

Datei: Spektrum-Co-rr.TEKTKA

$\text{Co}^{57}$  Detektor: rechts; Öffnung: links

Ampl.: "

LLD: 1,7%

t = 300s

Datei: Spektrum-Co-rl.TEKTKA

$\text{Co}^{57}$  Detektor: links; Öffnung: links

Ampl.: "

LLD: 1,7%

t = 300s

Datei: Spektrum-Co-ll.TEKTKA

$\text{Co}^{57}$  Detektor: links; Öffnung: rechts

Ampl: "

t = 300s

LLD: 1,7% Datei: Spektrum-Co-l.r.TKA

$\text{Am}^{241}$  Detektor: rechts; Öffnung (=Terra): rechts

Analoge Einstell. Datei: Spektrum-Am-rr.TKA

Abbildung 14: Seite 2 der Messaufzeichnungen.

## 36 Verzugte Störnischen

### Rechter Detektor

Upper : 0,56

Delay: aus (—)

Lower : 0,56

Ampl: 2,00 bei 200

### linker Detektor

Upper : 4,74

Delay: 1,1  $\mu$ s (rein unten)

Lower : 3,80

Ampl: 5,75 bei 200 (dreiige Skalott)

### TAC

Range :  $0.2 \times 10$

Amplitude: senkrecht nach oben

LLO: 1,7%

$t = 18,5$  h

Öffnung: rechts

Dati: ver. Störn TKA

## Entfallige Störnischen

gleiche Einstellungen, wie bei ver. Störn, außer  
Delays:

rechtes Delay 500ms (rein unten)

linkes Delay : aus

$t = 1287$  min

Abbildung 15: Seite 3 der Messaufzeichnungen.

<u>Calibration des TAC</u>		
Wicht:	Ch 23	große Schätzungen
130ns		
$(130 \pm 24)$ ns	156, 157	1,5
<i>38ns</i> Stablaufzeit		
Zündosz & Amps wie bei ver. Stern		
TAC wie bei ver. Stern		
Delay durch <del>etc.</del> end. Delays		
Delay 1ns	Channel	
190 ± 24	156,5	(nur Stabile)
158 ± 24	133	
126 ± 24	110	
94 ± 24	87	
<del>62 ± 24</del>	68	
31 ± 24	52	
24	37	
0 - gleich lange Stab	30	
<del>16 ± 24</del>		
16 ± 24	44	
48 ± 24	60	
80 ± 24	78,5	
112 ± 24		
0.600 <sup>1</sup> 2 1,097		

Abbildung 16: Seite 4 der Messaufzeichnungen.

## Delay durch SCA ~~Brücke~~

Delay /ns

~~200~~ 200

100

300

400

500

600

700

800

Channel

533

517

667

741

817

830

966

ausserhalb

Abbildung 17: Seite 5 der Messaufzeichnungen.

## A.2 Spektren

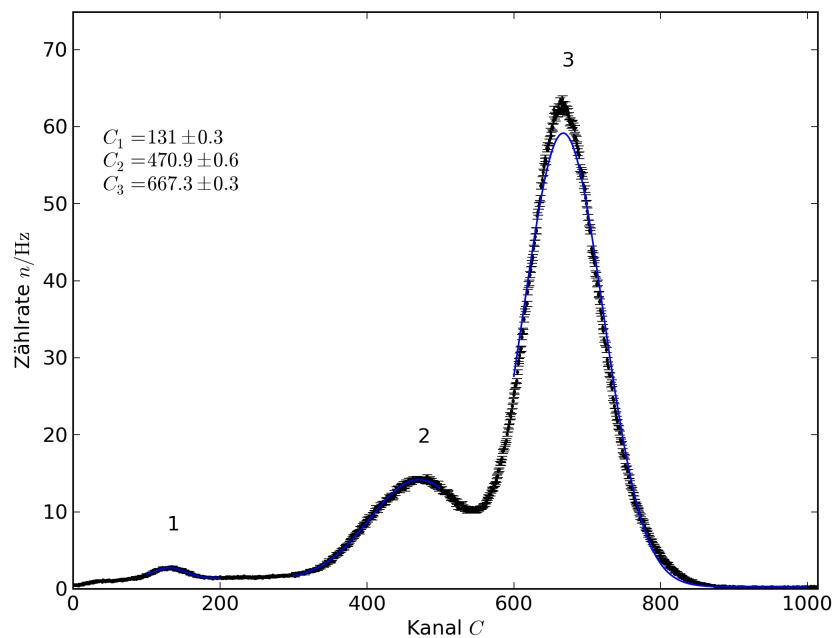


Abbildung 18: Spektrum der  $^{57}\text{Co}$  Probe aufgenommen mit linkem Detektor, Öffnung der Probe nach links. Peaks sind mit einem Gauß gefittet.

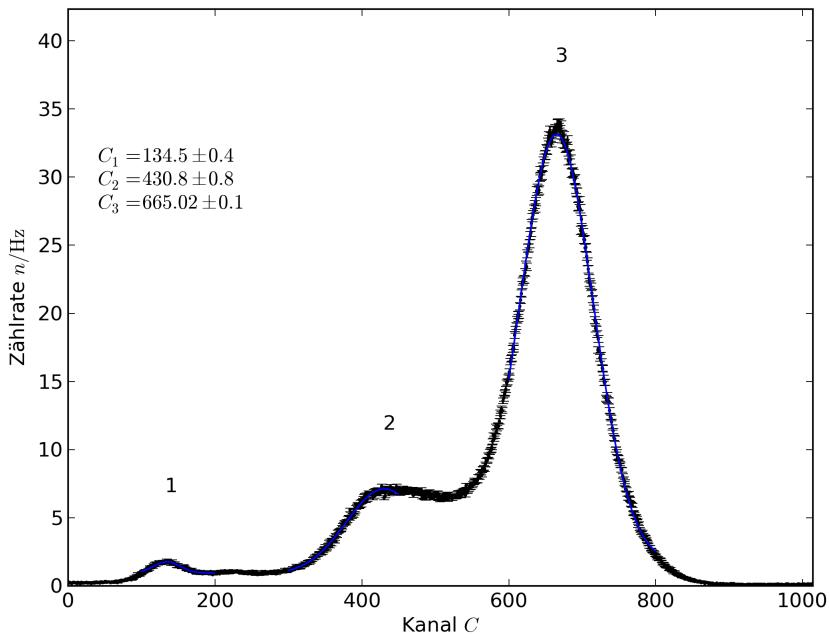


Abbildung 19: Spektrum der  $^{57}\text{Co}$  Probe aufgenommen mit linkem Detektor, Öffnung der Probe nach rechts. Peaks sind mit einem Gauß gefittet.

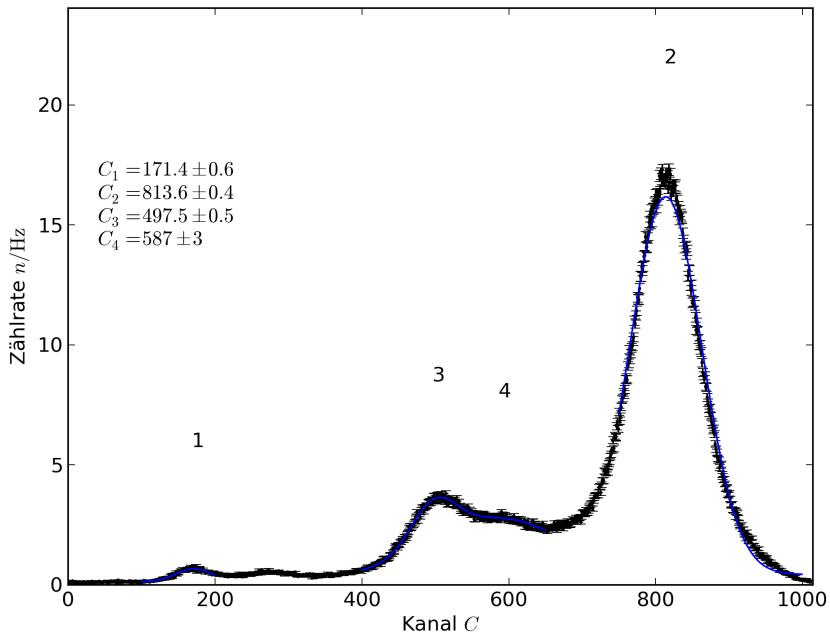


Abbildung 20: Spektrum der  $^{57}\text{Co}$  Probe aufgenommen mit rechtem Detektor, Öffnung der Probe nach links. Peaks sind mit einem Gauß gefittet.

## Literatur

- [1] Wolfgang Demtröder. *Experimentalphysik 2*. Springer, 5 edition, 2010.
- [2] Wolfgang Demtröder. *Experimentalphysik 3*. Springer, 4 edition, 2010.
- [3] M Köhler and M. Köhli. Versuchsanleitung fp i: Kurze halbwertszeit, April 2011.