

# Kurze Halbwertszeiten

Björn Lennartz      Johannes Löhner-Böttcher

20.3.2009

Der Versuch beschäftigt sich mit der Bestimmung der Halbwertszeiten von Gamma-Übergängen durch verzögerte Koinzidenzen. Bestimmt wird die Halbwertszeit und die mittlere Lebensdauer des 14,4 keV Zustandes in  $^{57}\text{Fe}$ .

# Inhaltsverzeichnis

## A.) Vorbereitung

I. Ziel des Versuchs

II. Physikalische Grundlagen

1. Elektroneneinfang
2. Gammastrahlung
3. Wechselwirkung von Gammastrahlung mit Materie
4. Szintillatoren
5. Photomultiplier
6. Methode der verzögerten Koinzidenzen
7. Methode zur Bestimmung der Zerfallskonstanten, Prompt-Peak

## B.) Versuchsdurchführung

1. Durchführung
2. Aufgaben

## C.) Versuchsergebnisse

1. Zeitkalibrierung des TAC
2. Aufnahme der Energiespektren von  $^{22}\text{Na}$  und  $^{57}\text{Co}$
3. Einstellen des Diskriminatorfensters
4. Koinzidenzmessungen
5. Bestimmung der mittleren Lebensdauer und Halbwertszeit des 14,4keV-Zustands in  $^{57}\text{Fe}$
6. Zusammenfassung der Ergebnisse

## Anhang:

- zu B) Messprotokoll
- zu C) Auswertungstabelle

## B) Versuchsdurchführung

### 1. Durchführung

- Die Detektoren (bestehend aus Szintillator, Photomultiplier und Vorverstärker) betrieben wir mit einer konstanten Spannung von je 900V.
- Wir starteten mit der Aufnahme des Natriumspektrums jeweils einmal mit dem rechten und dem linken Szintillator für eine spätere Energie-Kanal-Eichung. Der Ausgang des jeweiligen Szintillator wurde auf den Eingang des Verstärkers (MA) gelegt und der unipolare Ausgang mit dem MCA-Eingang verbunden
- Danach nahmen wir das Cobaldspektrum erst mit dem rechten, dann dem linken Szintillator auf. Wir drehten das Präparat um  $180^\circ$  und nahmen noch einmal erst mit dem rechten und dann mit dem linken Detektor auf.
- Im Anschluss führten wir eine Zeiteichung des TAC durch, indem wir mit der Natriumprobe die ankommenden Signal im MCA bei unterschiedlichen Verzögerungen aufnahmen. Wir verwendeten dabei die Methode nur mit einem Detektor zu messen und das Signal dann zu splitten und am einen SCA zu verzögern.
- Danach setzten wir die Cobaldprobe wieder ein, um das Diskriminatorfenster für das 14,4keV-Signal am rechten Detektor und das 122keV-Signal am linken Detektor einzustellen.
- Mit diesen Einstellungen maßen wir dann zunächst die zufälligen Koinzidenzen ohne einer zusätzlichen Verzögerung zwischen den beiden Signalen.
- Unsere Hauptmessung der verzögerten Koinzidenzen mit einer zusätzlichen Verzögerung des 122keV-Signal von 800ns ließen wir dann über das Wochenende, also eine große Messzeit laufen.

### 2. Aufgaben

- 1) Aufnahme des Energiespektrums des  $\gamma$ -Strahlers  $^{57}\text{Co}$  .
- 2) Aufnahme des Energiespektrums des  $\gamma$ -Strahlers  $^{22}\text{Na}$  .
- 3) Zeitkalibrierung des TAC.
- 4) Aufnahme eines Spektrums der zufälligen Koinzidenzen.
- 5) Aufnahme des Spektrums der verzögerten Koinzidenzen.
- 6) Bestimmung der Halbwertszeit und der mittleren Lebensdauer des 14,4 keV -Zustands von  $^{57}\text{Fe}$  .

## C) Versuchsergebnisse

### 1. Zeitkalibrierung des TAC

Um der später aufgenommenen Exponentialfunktion der verzögerten Koinzidenzen eine Zeitachse zuordnen zu können, bzw. die Lebensdauer zu berechnen, mussten wir eine Zeit-Kanal-Eichung vornehmen, die jedem Kanal des MCA eine Verzögerungszeit zuordnet. Um die Zeiteichung des TAC durchzuführen, verwendeten wir die  $^{22}\text{Na}$  Quelle.

#### Zeit-Kanal-Eichung mit gesplittetem Signal

Wir verwendeten die Methode, ein Signal von nur einem Szintillator zu verstärken und anschließend mit einem T-Adapter zu splitten. Ein Signal wird dann direkt auf den Start-Eingang des TAC gelegt, das zweite wird zuerst mit dem Delay-Generator verzögert und anschließend auf den Stop-Eingang des TAC gelegt.

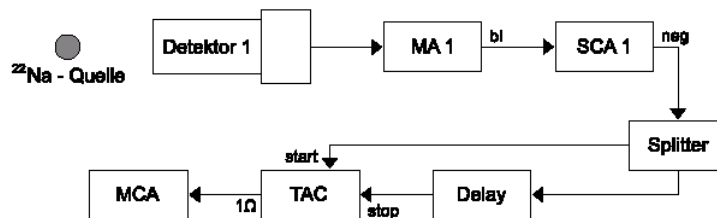


Abbildung 1: Schaltbild zur Zeitkalibrierung des TAC mit gesplittetem Signal

Durch Variation der Delays erhält man das unten dargestellte Spektrum (Abbildung 2).

Wir bauten verschiedene Verzögerungen in unseren Aufbau ein und beobachteten die jeweiligen Kanäle des MCA in denen dann die Signale erschienen.

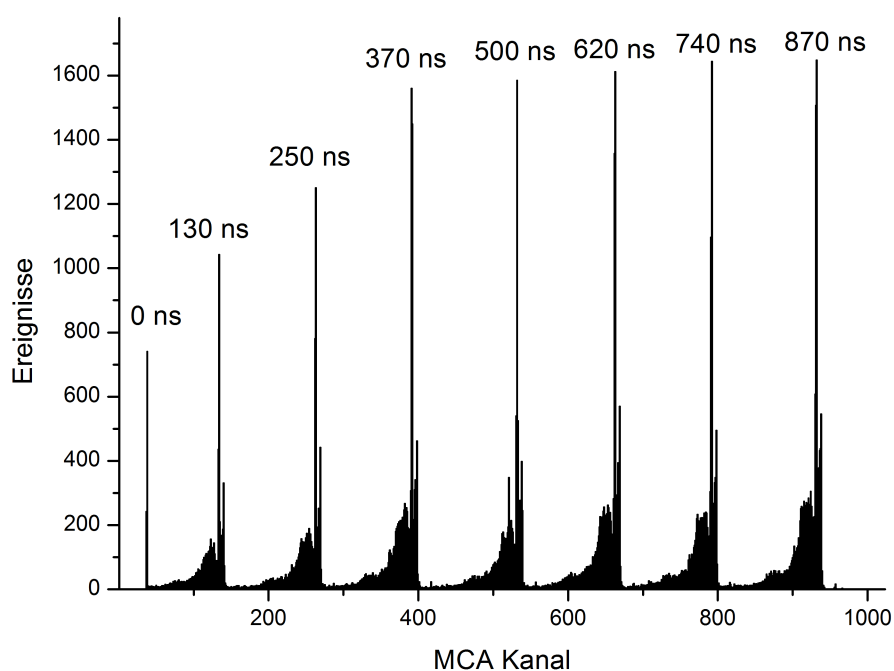


Abbildung 2: Signale in Kanälen bei unterschiedlichen Verzögerungen

Peak	Delay [ns]	Kanal
1	0	38
2	130	134
3	250	263
4	370	391
5	500	532
6	620	663
7	740	792
8	870	932

Als Fehler für die Kanalbestimmung wählten wir  $\sigma(K)=2$ .

Dann trugen wir die jeweils angesprochenen Kanäle gegen die dazugehörigen Verzögerungen auf und ermittelten anhand eines linearen Fits die Steigung der Geraden:

$$B=(1,04887\pm0,01752)\frac{\text{kanal}}{\text{ns}}$$

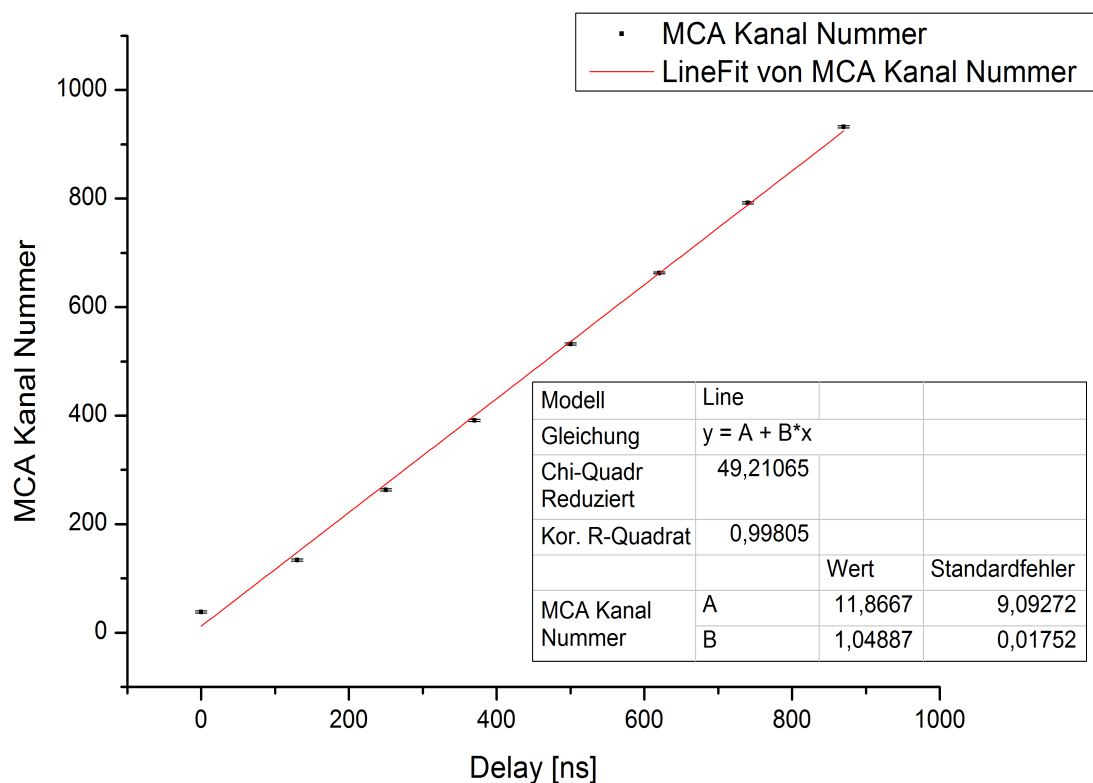


Abbildung 3: Linearer Fit zur Zeit-Kanal-Eichung des TAC

Wir erhalten für unseren Umrechnungsfaktor  $m = \frac{1}{B} = 0,95341 \frac{\text{ns}}{\text{kanal}}$ .

Sein Fehler folgt aus dem Fehler von B:  $\sigma(m) = \sqrt{\left(\frac{dm}{dB}\right)^2 \cdot \sigma^2(B)} = \left| -\frac{\sigma(B)}{B^2} \right| = 0,01593 \frac{\text{ns}}{\text{kanal}}$

Das heißt, ein Kanal entspricht einem Zeitintervall von 0,95341 ns.

## 2. Aufnahme der Energiespektren von $^{22}\text{Na}$ und $^{57}\text{Co}$

Wir nahmen die Energiespektren der  $\gamma$ -Strahlung von  $^{22}\text{Na}$  und  $^{57}\text{Co}$  mit dem Vielkanalanalysator (MCA) auf. Dabei verwendeten wir abwechselnd den rechten und linken Detektor, griffen das Signal am Hauptverstärker (MA) ab und führten es zum Vielkanalanalysator.

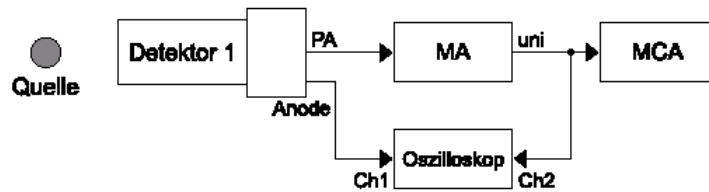


Abbildung 4: Schaltbild zur Aufnahme der Energiespektren

Dabei erhielten wir folgende Energiespektren:

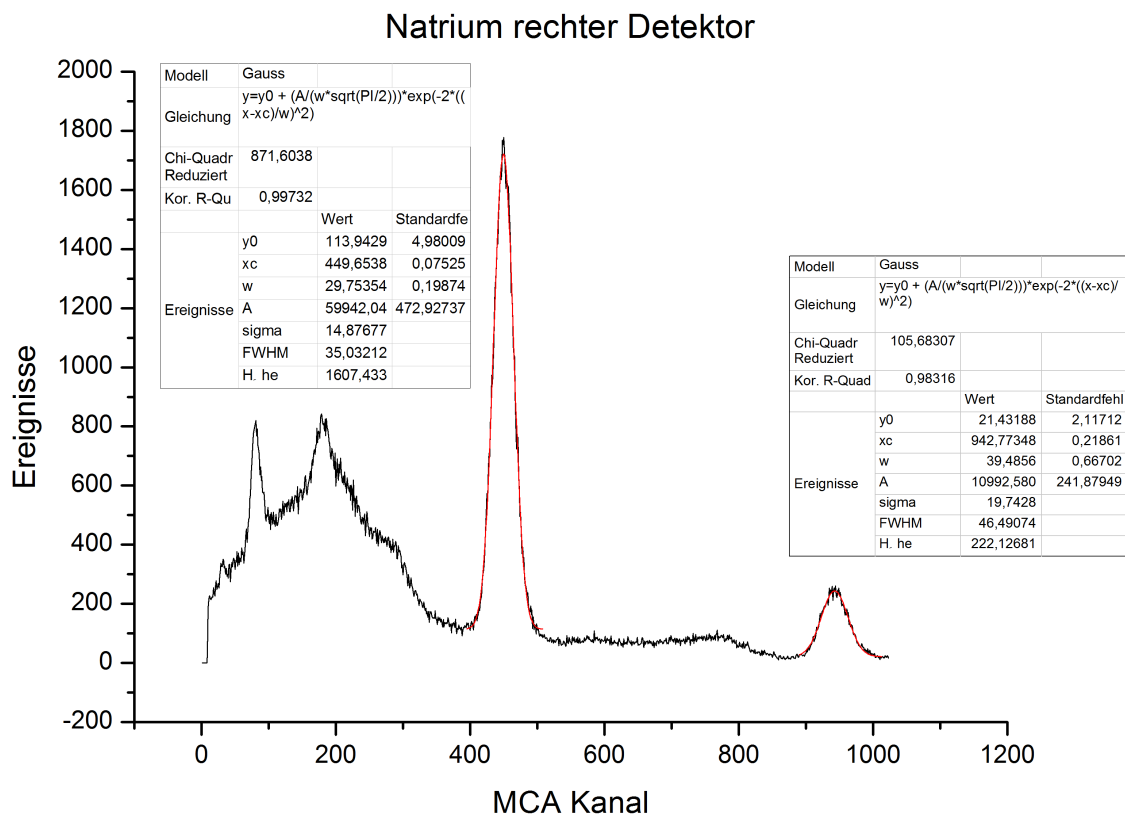


Abbildung 5: Energiespektrum von  $^{22}\text{Na}$  mit rechtem Detektor (1)

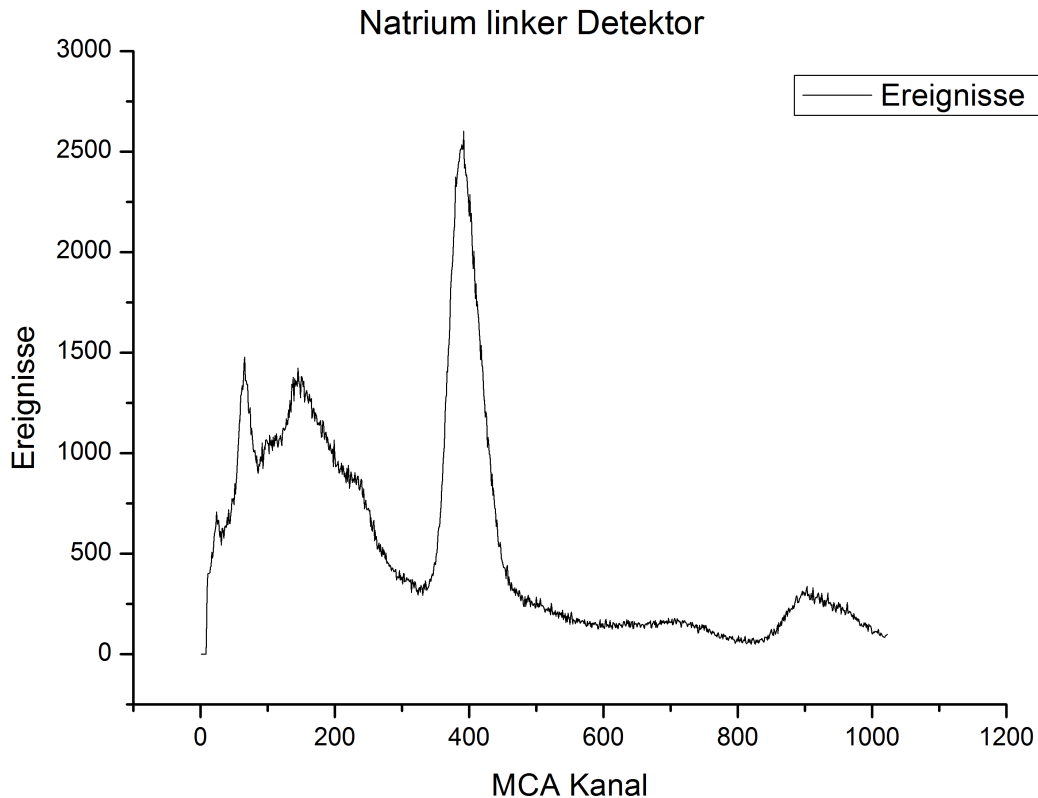


Abbildung 6: Energiespektrum von  $^{22}\text{Na}$  mit linkem Detektor (2)

Aus dem  $^{22}\text{Na}$  Spektrum kann man den 0,511 MeV-Peak sehr schön ablesen, wie auch den 1,28 MeV-Peak auf der rechten Seite. Durch diese beiden dominanten Peaks konnte nun eine Energie-Kanal-Eichung durchgeführt werden, indem wir die beiden Peaks durch Gauß-Kurven gefittet haben und somit den zugehörigen Kanal erhielten. Daraus konnte man nun eine Gerade bestimmen, die zur Eichung diene.

Man sieht im Energiespektrum von  $^{57}\text{Co}$ , aufgenommen mit dem rechten Detektor (Abbildung 7), unseren 14,4 keV- Peaks ungefähr bei Kanal 75 und den 122 keV-Peak ungefähr bei Kanal 630. Bei den Energiespektren, die wir mit dem linken Detektor aufgenommen haben, können wir nur den 122 keV-Peak deutlich erkennen.

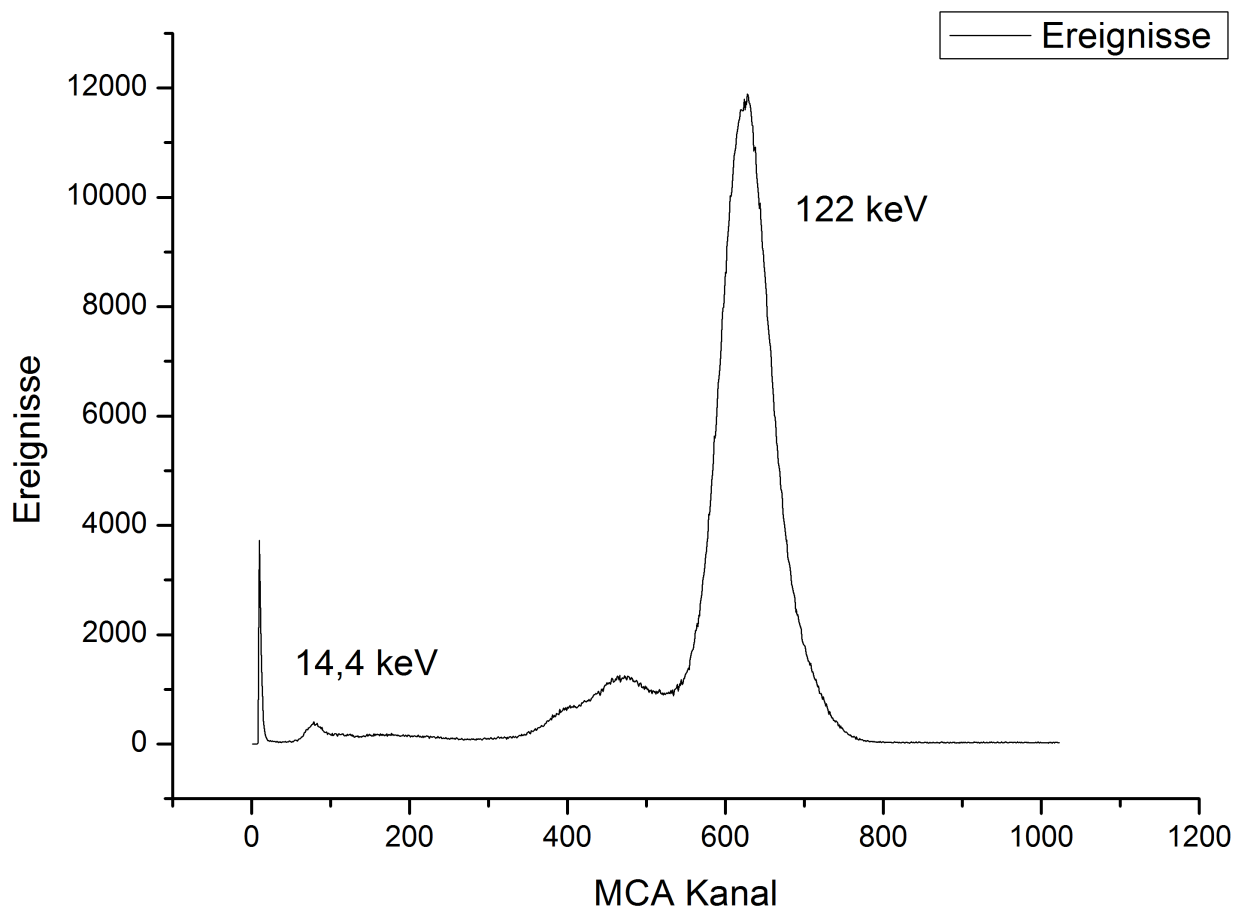


Abbildung 7: Energiespektrum von  $^{57}\text{Co}$  mit rechtem Detektor (1)

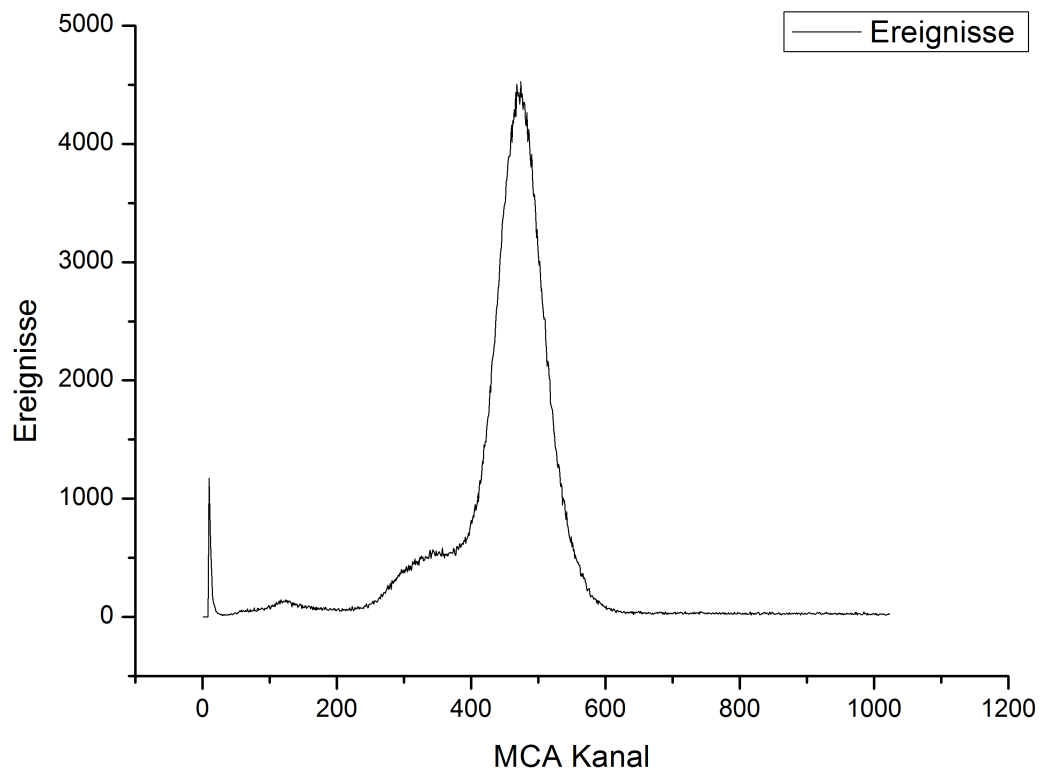


Abbildung 8: Energiespektrum von  $^{57}\text{Co}$  mit linkem Detektor (2)



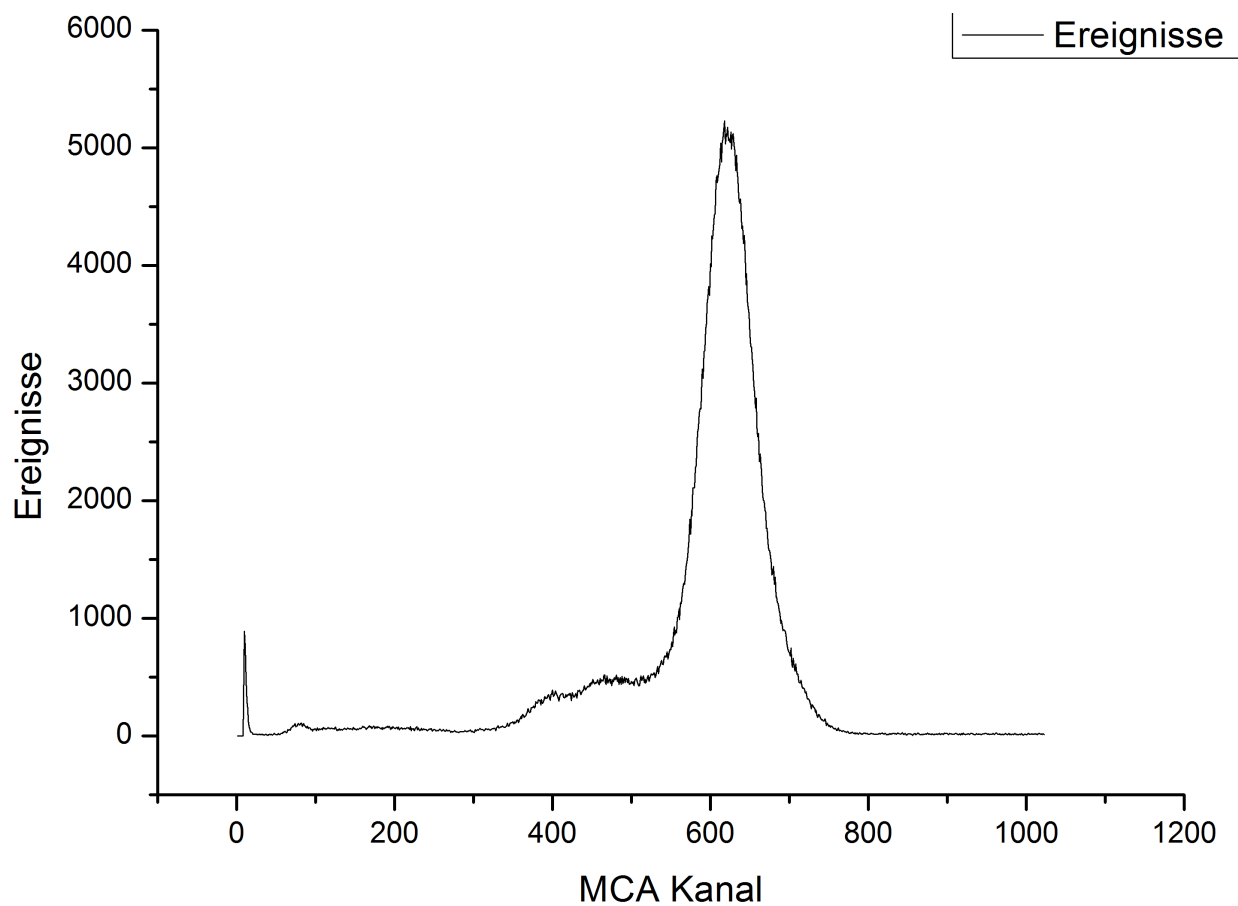


Abbildung 9: Energiespektrum von  $^{57}\text{Co}$  (Quelle gedreht) mit rechtem Detektor (1)

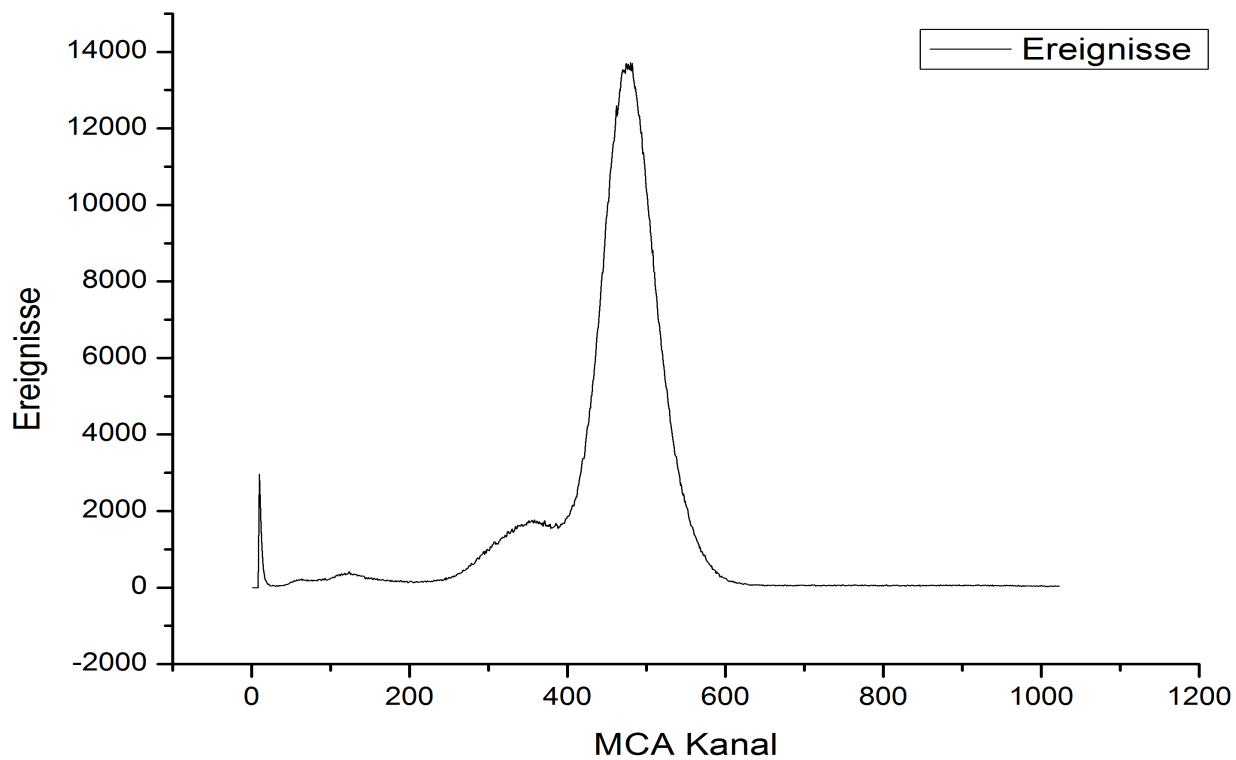


Abbildung 10: Energiespektrum von  $^{57}\text{Co}$  (Quelle gedreht) mit linkem Detektor (2)

### 3. Einstellen des Diskriminatorfensters

Da der rechte Detektor den 14,4keV-Peak am besten erfasste (Abbildung 7), wählten wir im Folgenden den rechten Detektor zur Erfassung des 14,4 keV-Signals und den linken zur Erfassung des 122 keV-Signals.



Abbildung 11: Schaltbild zum Setzen der Energiefenster

Um für unsere Messung nur die  $\gamma$ -Quanten der Signale 14,4keV und 122keV einzufangen, konnten wir mit dem Einkanaldiskriminator die Energiefenster einstellen. Somit kamen nur noch Signale der gewünschten Energie an. Zur genauen Einstellung der Peaks namen wir das  $^{57}\text{Co}$  Spektrum mit dem jeweiligen Szintillator auf und wollten dann durch Variation der oberen und unteren Schranke des Fensters die Energiefenster genau auf die Breite der Peaks einstellen. Da aber die oberen Schranken nicht funktionierten, verstärkten wir das Signal so stark, dass es am rechten Rand der möglichen Kanäle erschien und wir somit Signal höherer Energien hinausschoben. Dann stellten wir noch die untere Fensterkante auf den linken Rand des jeweiligen Signals ein und erhielten so für den rechten Detektor nur noch das 14,4 keV-Signal und für den linken das 122 keV-Signal. (Einstellungen siehe Anhang)

## 4. Koinzidenzmessungen

Nach der Einstellung der Diskriminatorfenster konnten wir mit der Messung der zufälligen und verzögerten Koinzidenzen starten.

Es wurden folgende Verbindungen zur Messung der Koinzidenzen geschaltet (Abbildung 12):

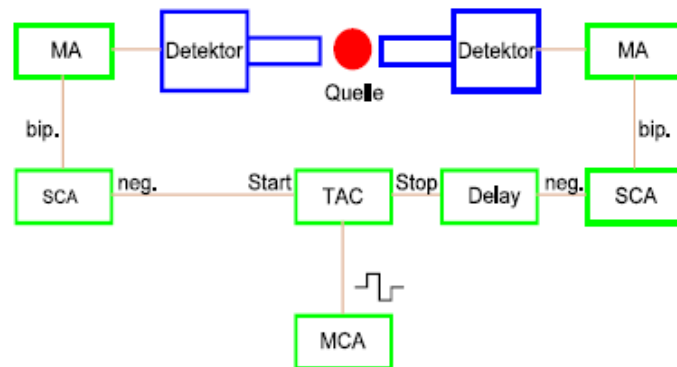


Abbildung 12: Schaltbild zum Messen der zufälligen und verzögerten Koinzidenzen

### Messung der zufälligen Koinzidenzen

Zunächst haben wir die zufälligen Koinzidenzen gemessen, indem wir die Verzögerungen an beiden SCAs auf 1,0 eingestellt und somit keine Verzögerung zwischen den beiden Signalen erhielten.

Nach einer Messzeit von 2717 Sekunden oder 45 Minuten und 17 Sekunden erhielten wir folgendes Spektrum:

Abbildung 13: Spektrum der zufälligen Koinzidenzen

Dieser Untergrund wird später auf die Zeit der Hauptmessung hochgerechnet und von ihr abgezogen.

### Messung der verzögerten Koinzidenzen

Für die Lebensdauerermessung des 14,4 keV-Zustands in  $^{57}\text{Fe}$  ist es im Sinne einer geringen Totzeit der Elektronik zweckmäßig, die Start- und Stop-Signale zu vertauschen, wobei nun das Stop-Signal auf die 122keV-Linie und das Start-Signal auf die 14,4keV-Linie gesetzt wird. Das Stop-Signal haben wir, nach Durchprobung mehrerer Delays, dann um 800ns verzögert.

Da wir unseren ersten Versuchstag an einem Freitag hatten, haben wir die Messung über das ganze

Wochenende laufen lassen und somit eine Messzeit von ...s, bzw. ...Stunden und ...s, erhalten.

Als Spektrum der verzögerten Koinzidenzen erhielten wir für den 14,4keV-Zustand:

Abbildung 13: Spektrum der verzögerten Koinzidenzen

Man erkennt hier deutlich die exponentielle Steigung der Kurve, bevor sie auf der rechten Seite abfällt.

## 5. Bestimmung der mittleren Lebensdauer und Halbwertszeit des 14,4keV-Zustands in $^{57}\text{Fe}$

Nachdem wir das Spektrum der verzögerten Koinzidenzen aufgenommen haben, mussten wir die zufälligen Koinzidenzen von dem aufgenommenen Zeitspektrum abziehen. Da unsere Messung der zufälligen Koinzidenzen über einen deutlich kürzeren Zeitraum ging, rechneten wir die Anzahl der zufälligen Ereignisse  $N_u$  jedes Kanals auf die Messzeit des Zeitspektrums um.

Mit einer Messzeit  $t_s$  für das Zeitspektrum, der Messzeit  $t_u$  für den Untergrund und der Anzahl  $N_s$  an Ereignissen des Zeitspektrums können wir die Ereignisse für die jeweiligen Kanäle

korrigieren:

$$N = N_s - \frac{t_s}{t_u} N_u$$

Da die einzelnen Fehler  $\sigma(N_s) = \sqrt{N_s}$  und  $\sigma(N_u) = \sqrt{N_u}$  sind, ergibt sich als Fehler der Ereignisse für die jeweiligen Kanäle aus der Fehlerfortpflanzung:

$$\sigma(N) = \sqrt{\left(\frac{dN}{dN_s}\right)^2 \cdot \sigma^2(N_s) + \left(\frac{dN}{dN_u}\right)^2 \cdot \sigma^2(N_u)} = \sqrt{\sigma^2(N_s) + \left(\frac{t_s}{t_u}\right)^2 \cdot \sigma^2(N_u)} = \sqrt{N_s + \left(\frac{t_s}{t_u}\right)^2 \cdot N_u}$$

Um nun mit dem so korrigierten Zeitspektrum die mittlere Lebensdauer und die Halbwertszeit zu bestimmen, verwendeten wir die Slope-Methode (siehe A.II.7).

Dazu schätzten wir durch Spiegelung der Flanke der prompten Kurve am Maximum des Peaks ab, ab welchem Kanal die prompte Kurve keinen relevanten Beitrag zur aufgenommenen Verteilung lieferte. Bei der zu erwartenden Verteilung ist allerdings zu beachten, dass der Exponent aufgrund der verzögerten Koinzidenz-Methode positiv ist.

Als Fit-Funktion verwendeten wir also:

$$F(t) = A \cdot e^{\lambda t} + y_0$$

Abbildung : Exponentieller Fit der korrigierten Zeitspektrumskurve

Wir erhaltenen somit als Zerfallskonstante  $\lambda = (\dots \pm \dots) \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{kanal}}$

Mit dem Umrechnungsfaktor  $m = (0,95341 \pm 0,01593) \frac{\text{ns}}{\text{kanal}}$  aus der Zeiteichung des TAC, können wir nun direkt die mittlere Lebensdauer  $\tau$  und ihren Fehler  $\sigma(\tau)$  des 14,4 keV-Zustands

bestimmen:  $\tau = \frac{m}{\lambda} = \dots \text{ns}$

$$\begin{aligned} \text{und} \quad \sigma(\tau) &= \sqrt{\left(\frac{d\tau}{dm}\right)^2 \cdot \sigma^2(m) + \left(\frac{d\tau}{d\lambda}\right)^2 \cdot \sigma^2(\lambda)} = \sqrt{\left(\frac{\sigma(m)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{-m \cdot \sigma(\lambda)}{\lambda^2}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{\sigma(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma(\lambda)}{\lambda}\right)^2} = \dots \text{ns} \end{aligned}$$

Für die Halbwertszeit  $T_{1/2}$  und ihren Fehler  $\sigma(T_{1/2})$  gilt dann

$$T_{1/2} = \ln(2) \cdot \tau = \dots \text{ns}$$

$$\text{und} \quad \sigma(T_{1/2}) = \sqrt{\left(\frac{dT_{1/2}}{d\tau}\right)^2 \cdot \sigma^2(\tau)} = \ln 2 \cdot \sigma(\tau) = \dots \text{ns}$$

Damit erhalten wir schließlich für die mittlere Lebensdauer  $\tau = (\dots \pm \dots) \text{ns}$

und für die Halbwertszeit  $T_{1/2} = (\dots \pm \dots) \text{ns}$

## 6. Zusammenfassung der Ergebnisse

Für den 14,4 keV-Zustand von  $^{57}\text{Fe}$  erhielten wir

als mittlere Lebensdauer:  $\tau = (\dots \pm \dots) \text{ns}$

und als Halbwertszeit:  $T_{1/2} = (\dots \pm \dots) \text{ns}$

Unser Fehler von ...% ist jedoch relativ hoch, da die Messzeit der zufälligen Koinzidenzen doch deutlich geringer war, als die der verzögerten Koinzidenzen.

Der von Clark bestimmte Wert war  $\tau_{\text{clark}} = (140,2 \pm 0,3) \text{ns}$ . Unser Wert weicht also um  $(\dots \pm \dots) \text{ns}$  ab und liegt somit im ... $\sigma$ -Fehlerbereich.

Der Literaturwert für die Halbwertszeit des 14,4 keV-Zustands beträgt  $T_{1/2,lit} = (98,3 \pm 0,3) ns$  .

Unser Wert weicht hier um  $(... \pm ...) ns$  ab und liegt dadurch im ... $\sigma$ -Fehlerbereich.

Ingesamt ...