

Schüler *Labor*

GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung

Station 7

γ - γ -Koinzidenz

Inhalt

Inhalt.....	1
Die Positron-Elektron-Vernichtungsstrahlung bei Na-22.....	2
Worum es geht.....	2
V.1. Der Experimentierplatz.....	2
V.2. Übersicht über die Koinzidenzelektronik.....	3
V.3. Beobachtung der Detektorsignale mit dem Oszilloskop.....	5
V.3.1. Erste Schritte.....	5
V.3.2. Triggern.....	7
V.3.3. Koinzidenzen.....	8
V.3.4. Signalgeschwindigkeit in Kabeln.....	8
V.4. Die elektronische Aufbereitung der Detektorsignale.....	9
V.4.1. Der Hauptverstärker (Timing Filter Amplifier TFA).....	9
V.4.2. Der Constant Fraction Diskriminator Verstärker (CFD).....	10
V.4.3. Die Koinzidenz - Einheit.....	11
V.4.4 Zeitgeber (Timer) und Zähler (Scaler).....	12
V.5. Die Messung des Zeitspektrums.....	13
V.6. Die Messung der Geschwindigkeit der Gamma-Quanten.....	14
V.7. Die Messung der Gamma-Gamma-Winkelverteilung.....	15
Hintergrundwissen.....	16
H.1. Das Positron und die e^+e^- -Vernichtungsstrahlung.....	16
H.1.1. Der Strahlerstift mit der Na-22-Quelle.....	17
H.2. Nachweis von Gamma-Quanten mit einem NaI-Szintillationszähler.....	18
H.3. Berechnung der Koinzidenzfläche.....	20
H.4. Arbeiten mit dem Oszilloskop.....	22
H.5. Einstellung des Constant-Fraction-Diskriminators (optional).....	23
H.5.1 Threshold Adjustment ("T").....	23
H.5.2 Walk Adjustment ("Z").....	24
H.5.3 Output Width Adjustment ("W").....	24

Die Positron-Elektron-Vernichtungsstrahlung bei Na-22

Worum es geht

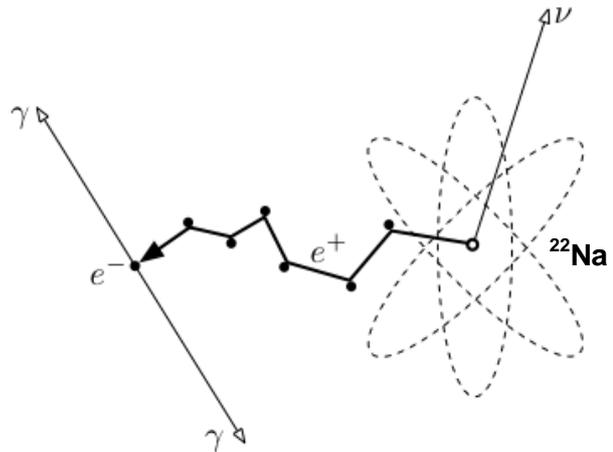
Das radioaktive Nuklid Na-22 zerfällt, indem es ein sogenanntes **Positron** (e^+) aussendet. Dieses Elementarteilchen gleicht in allen seinen Eigenschaften einem normalen Elektron (e^-) bis darauf, dass es die genau entgegengesetzte elektrische Ladung trägt. Das Positron ist elektrisch positiv geladen! Man nennt das Positron daher auch das **Antiteilchen** des Elektrons.

Das Positron ist damit ein Stück **Antimaterie**, das in unserer aus Materie aufgebauten Welt nicht lange existiert. Es wird zunächst in zahlreichen Stößen abgebremst und bildet schließlich mit einem Elektron ein sehr kurzlebiges „Positronium-Atom“, in dem Positron und Elektron um ihren gemeinsamen Schwerpunkt kreisen. Nach wenigen Nanosekunden vernichten sich diese beiden Antiteilchen dann gegenseitig (sog. **Anihilisation**), wobei ihre gesamte Ruhemasse nach der berühmten Einsteinschen Formel $E=m \cdot c^2$ vollständig in Strahlungsenergie umgewandelt wird: vom Ort der Anihilisation fliegen gleichzeitig zwei γ -Quanten mit Lichtgeschwindigkeit in genau entgegengesetzte Richtungen fort, jedes mit einer Energie von 511 keV.

Dieser physikalische Prozess ist Grundlage zahlreicher interessanter Anwendungen, z.B. in der medizinischen Diagnostik bei der **Positronen-Emissions-Tomographie (PET)**.

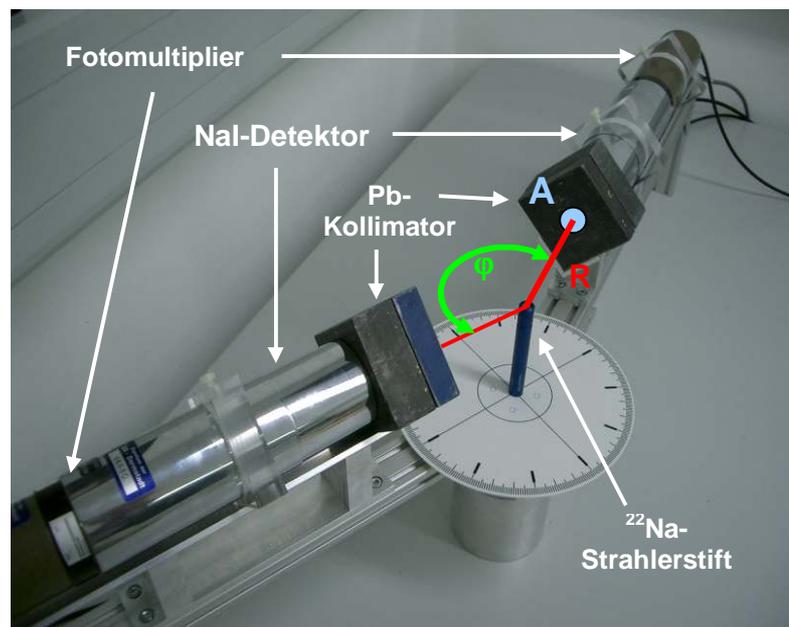
Im vorliegenden Experiment geht es darum, mit zwei geeigneten Detektoren die besonderen Eigenschaften der gleichzeitig auftretenden (**koinzidenten**) γ -Quanten nachzuweisen:

- ihre genau entgegengesetzte Flugrichtung und
- ihre Geschwindigkeit von $c = 300\,000\text{ km/s}$!



V.1. Der Experimentierplatz

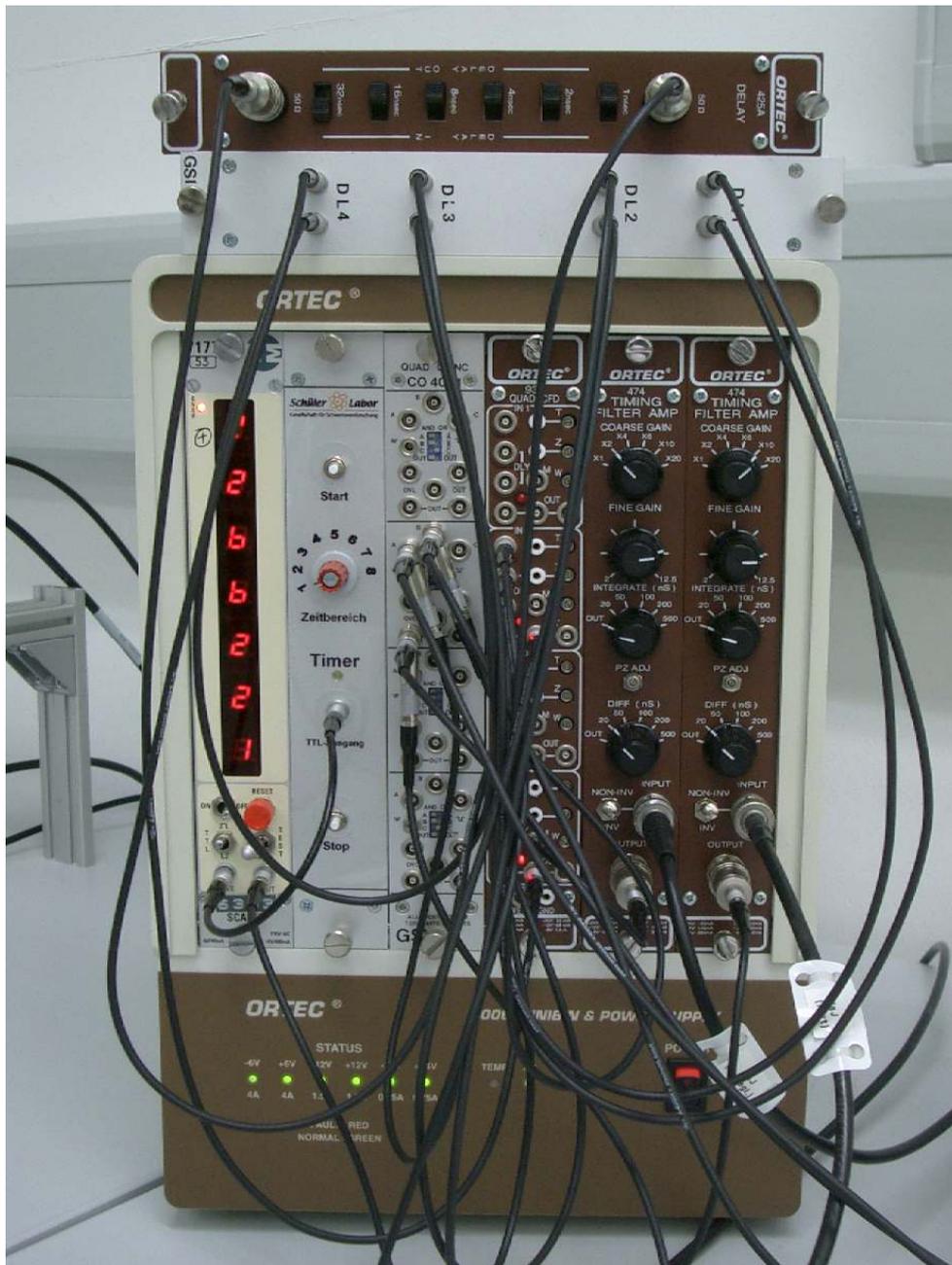
Die Abbildung zeigt die Anordnung mit zwei Natriumiodid-Detektoren (NaI) mit aufgesteckten Fotomultipliern und Vorverstärkern, von denen der hintere (rechte) fest steht, während sich der vordere (linke) parallel zur Tischebene drehen lässt. Genau in der Drehachse befindet sich im Abstand R zu beiden Detektoren die Halterung für den Strahlerstift mit der Na-22-Quelle. Der Drehwinkel φ zwischen den Detektoren lässt sich mit einer Winkelscheibe auf etwa $\frac{1}{2}$ Grad genau einstellen. Vor den beiden Detektoren wird die γ -Strahlung mit Bleiblenden (sog. **Kollimatoren**) auf die kreisförmige Fläche A begrenzt.



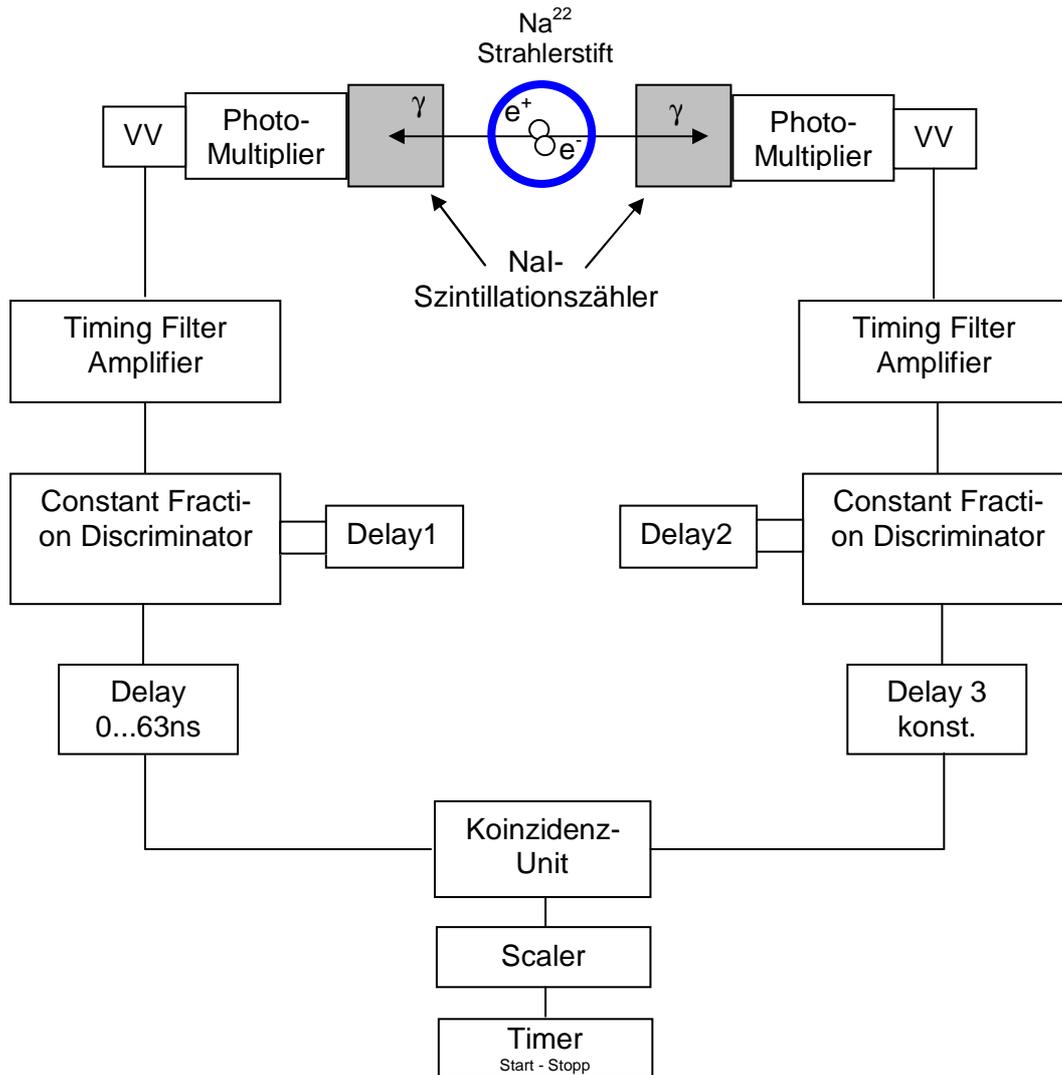
V.2. Übersicht über die Koinzidenzelektronik

Beide Detektoren sind über eine komplexe Elektronik mit einem Zählgerät verbunden, das die Anzahl aller in einem bestimmten Zeitintervall gleichzeitig in beiden Detektoren nachgewiesenen γ -Quanten registrieren soll.

Diese Elektronik ist in einem Einschub-Rahmen (sog. **Crute**, Bild unten) untergebracht. Die Stromversorgung zu den Detektoren und die Signalleitungen von den Detektoren bestehen aus abgeschirmten BNC-Kabeln. Im weiteren Verlauf der Verdrahtung findet man dünnere Kabel mit kleineren Steckern (sog. LEMO-Kabel).



Da die Verdrahtung in diesem Bild etwas unübersichtlich erscheint, ist der gesamten Aufbau der Elektronik auf der nächsten Seite noch einmal als Prinzipschaltbild dargestellt.



Man erkennt, dass die Schaltung symmetrisch und eigentlich gar nicht so kompliziert aufgebaut ist. Zu jedem Detektor gehört ein eigener Signalzweig mit folgenden Komponenten:

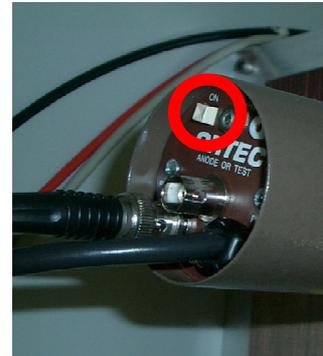
- ein Szintillationszähler mit Photomultiplier und Vorverstärker (VV). Diese drei Komponenten sind gemeinsam in dem zylindrischen Detektorgehäuse untergebracht.
- ein Hauptverstärker („ORTEC 474 Timing Filter Amplifier“, TFA).
- einen sog. Constant Fraction Discriminator („ORTEC 935 QUAD CFD“) mit fester Verzögerung (Delay1 bzw. Delay2). Für die festen Verzögerungszeiten sorgt die auf dem Crate liegende Kabelbox mit 4 fest eingebauten, langen Verlängerungskabeln.
- eine Signalverzögerung „Delay 3“ (fest, in der Kabelbox) bzw. „Delay 0..63ns“ (in 1-ns-Schritten einstellbar)
- beide Signalzweige münden in eine Koinzidenzschaltung („QUAD COINC CO 4001“) mit angeschlossenem Zeitgeber (Timer) und Zähler (Scaler).

☞ Verfolgen Sie alle Signalleitungen im Prinzipschaltbild und suchen Sie die bezeichneten Elektronikmodule im Crate. Beginnen Sie mit den beiden von den Detektoren kommenden BNC-Kabeln (Aufschrift: „NaI (fest)“ bzw. „NaI (bewegl.)“) und verfolgen Sie den Verlauf der Signalleitungen bis zum „Scaler“ vorsichtig und ohne ein Kabel herauszuziehen.

V.3. Beobachtung der Detektorsignale mit dem Oszilloskop

V.3.1. Erste Schritte

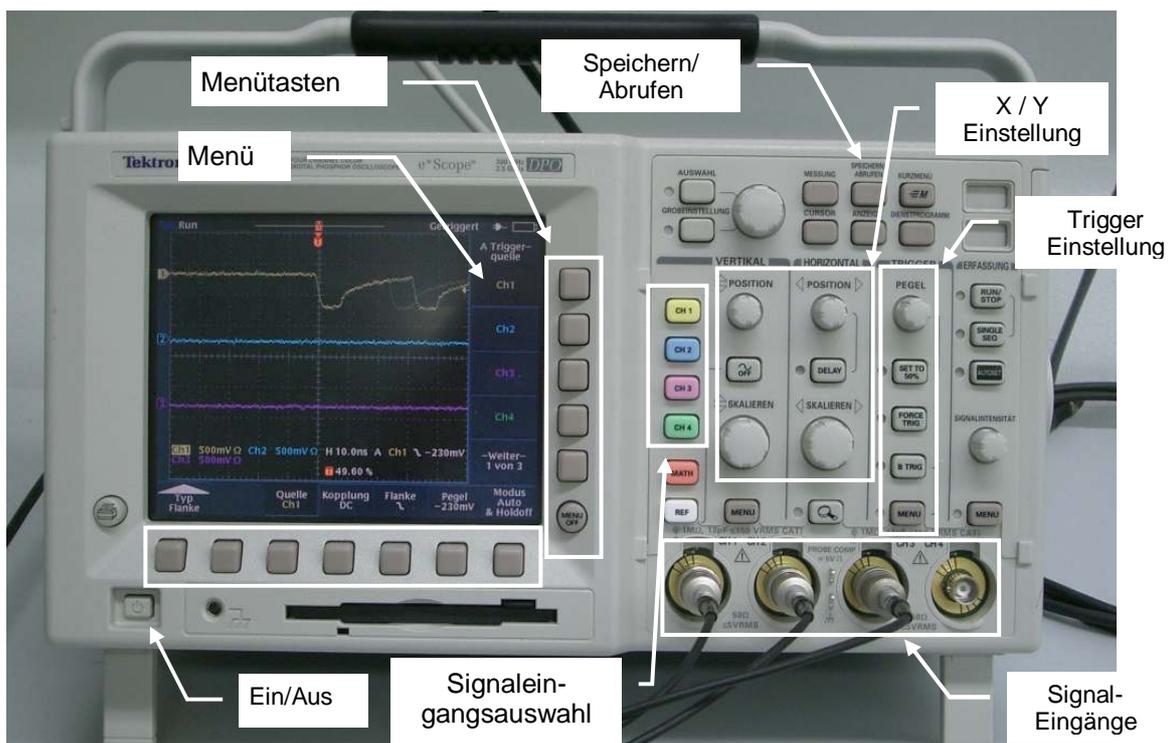
- ☞ Nehmen Sie die Elektronik in Betrieb. Schalten Sie dazu den Hauptschalter (POWER) am Crate unten rechts ein. Die LEDs sollten nun leuchten.
- ☞ Schalten Sie die beiden NaI-Detektoren an der Rückseite der Photomultipliergehäuse ein. Dort befindet sich ein kleiner quadratischer Schalter, der eingedrückt werden muss (Bild rechts).



Nach dem Einschalten geben die beiden Detektoren bereits elektrische Signale ab, da sie von γ -Quanten der natürlichen Umgebungsstrahlung getroffen werden. Diese Signale sollen nun mit dem Oszilloskop genauer untersucht werden.

- ☞ Ziehen Sie dazu die BNC-Stecker (Aufschrift: „NaI (fest)“ bzw. „NaI (bewegl.)“ vom Eingang der Timing-Filter-Verstärker ab und beachten Sie dabei, dass diese Stecker einen Bajonettverschluss besitzen, der gegen unbeabsichtigtes Herausziehen schützen soll. Durch Linksdrehung wird der Bajonettverschluss geöffnet, durch Rechtsdrehung wird er geschlossen.
- ☞ Stecken Sie nun die beiden Stecker in die Eingänge „CH1“ bzw. „CH2“ des Oszilloskops (Bild unten, alle anderen evtl. noch eingesteckten Signalleitungen sollten vorher entfernt werden).

Eine kurze Einführung in die Funktionsweise eines Oszilloskops befindet sich im Kapitel „Hintergrundwissen“, die wichtigsten im Folgenden notwendigen Bedienelemente sind im Bild unten hervorgehoben:



☞ Schalten Sie das Oszilloskop ein (Taste ganz links unten) und warten Sie auf die Bestätigung, dass alle Selbsttests erfolgreich ausgeführt wurden.

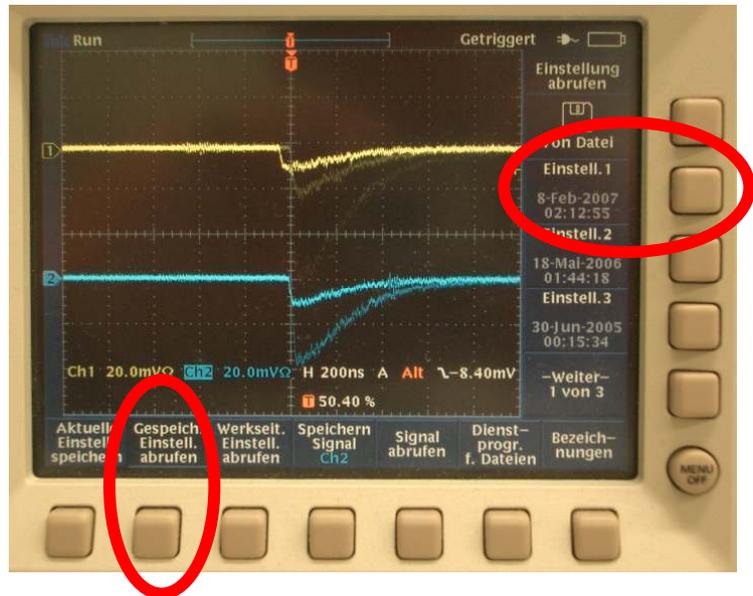
☞ Um eine Voreinstellung auszuwählen, drücken Sie nun die Taste „SPEICHERN/ABRUFEN“ (braune Taste ganz oben rechts). Daraufhin sollte das untenstehende Bildschirmmenü angezeigt werden.

☞ Drücken Sie die Menü-Tasten in der Reihenfolge:

- „gesp. Einstell.abrufen“
- „Einstell. 1“

☞ Sollte diese Voreinstellung überschrieben worden sein, können Sie die Oszilloskop-einstellungen auch von der in der Anleitung liegenden 3.5"-Diskette abrufen:

- <Von Datei> drücken.
- TEK00000.SET mit dem Auswahl-Drehknopf (über dem Wort VERTIKAL) auswählen.
- <Von gewählter Datei abrufen> drücken.



☞ In gelber [1] und blauer [2] Farbe werden nun die Signale der beiden Detektoren dargestellt. Auch ohne radioaktive Quelle sollten Sie nun Detektorsignale beobachten, die von der natürlichen γ -Untergrundstrahlung herrühren.

☞ **Welche Spannung haben die Signale und wie lange dauern sie ungefähr?** Schätzen Sie diese Werte anhand der angegebenen Skalierungsdaten: **Ch1 20.0mV** bedeutet, dass für den Signaleingang 1 in y-Richtung 1 cm einer elektrischen Spannung von 20mV entspricht (das nachgestellte Ω zeigt an, dass bei dieser Messung der Eingangswiderstand des Oszilloskops auf 50 Ω eingestellt ist). Die Angabe **H 200ns** besagt, dass in x-Richtung 1 cm einer Zeit von 200ns entspricht.

☞ Beobachten Sie die Signale nun einmal sehr genau in ihrer zeitlichen Abfolge! Wie oft können Sie in einer Minute beobachten, dass zwei γ -Quanten genau gleichzeitig in den beiden Detektoren ankommen? Überlegen und begründen Sie, ob dies prinzipiell häufig oder eher selten vorkommen kann!

Wahrscheinlich wird es Ihnen bei der letzten Aufgabe schwergefallen sein, genau zu entscheiden, ob zwei Detektorsignale gleichzeitig oder nur sehr kurz hintereinander sichtbar waren. Im nächsten Abschnitt soll dies genauer untersucht werden.

V.3.2. Triggern

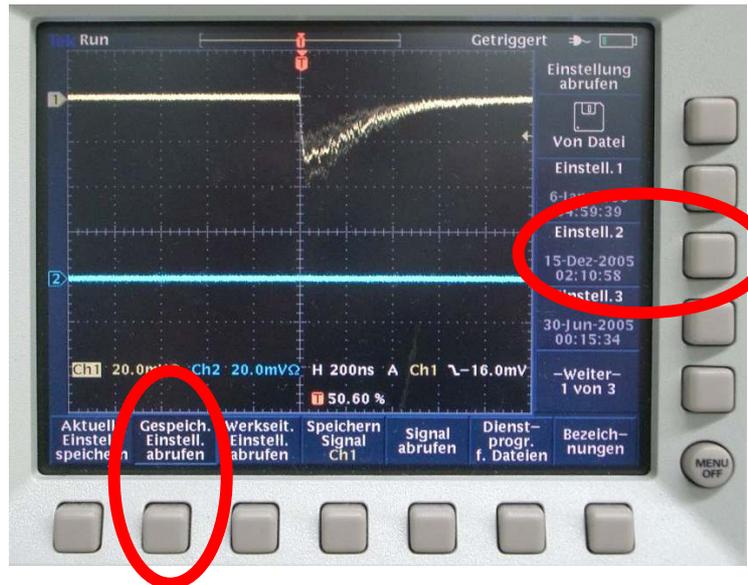
Im vorigen Abschnitt war das Oszilloskop so eingestellt, dass jedes elektrische Signal, das am einem Signaleingang (1 oder 2) registriert wurde, auf dem Schirm dargestellt wurde. Dies soll nun gezielt geändert werden.

☞ Rufen Sie (wie oben beschrieben) die Voreinstellung „Einstell.2“ ab.

- Taste „SPEICHERN/ ABRUFEN“ drücken
- Menü-Tasten drücken in der Reihenfolge: - „gesp. Einstell.abrufen“ - „Einstell. 2“

An diesem Beispiel erkennt man sehr schön, was das Wort „**Trigger**“ bedeutet. Wörtlich übersetzt heißt triggern „etwas auslösen“. Es wird häufig im Zusammenhang mit technischen, insbesondere auch mit computergestützten Systemen verwendet und bezeichnet **das Auslösen eines Vorgangs durch ein bestimmtes Ereignis**.

Nehmen wir z.B. an, dass wir am Oszilloskop Ch1 als Triggerquelle gewählt haben. Dann überwacht das Oszilloskop die an diesem Signaleingang liegende Spannung und stellt ihren zeitlichen Verlauf erst dann auf dem Bildschirm dar, wenn diese Spannung einen bestimmten Schwellwert (sog. „Triggerschwelle“) überschreitet. Damit ist sichergestellt, dass praktisch jedes am Eingang Ch1 ankommende Signal auch auf dem Schirm des Oszilloskops sichtbar gemacht wird.



☞ Prüfen Sie die Wirkung der folgenden Drehregler(⦿) und Tasten(□):

- TRIGGER: PEGEL(⦿) und MENU(□)
- VERTIKAL: CH1(□) bzw. CH2(□) und POSITION(⦿) sowie SKALIEREN(⦿)
- HORIZONTAL POSITION (⦿) und SKALIEREN (⦿)

Falls Sie sich in den Einstellungen „verirrt“ haben, können Sie die Grundeinstellung wie oben beschrieben immer wieder zurückholen!

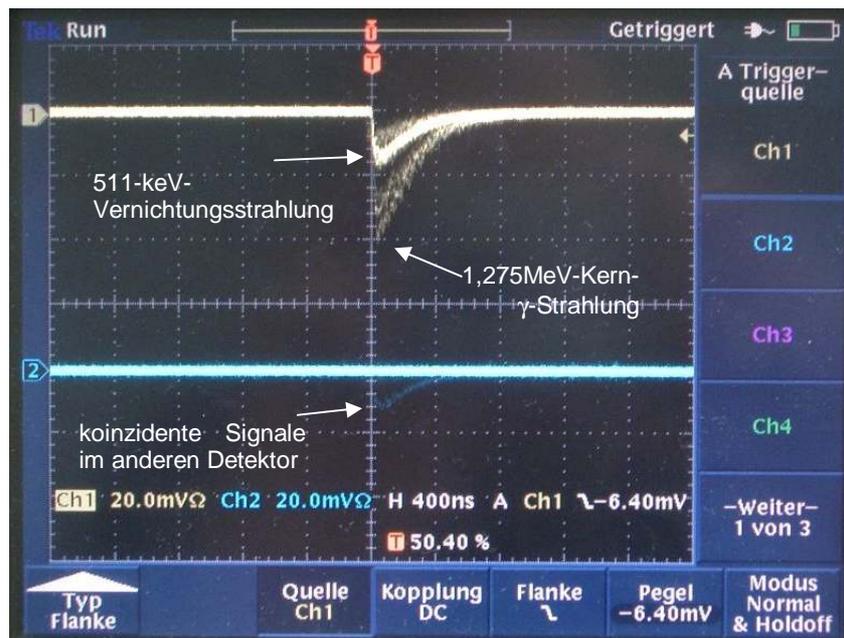
☞ Triggern Sie nun auf CH1 und legen Sie den Signalbeginn mit dem Regler HORIZONTAL POSITION auf die Mittellinie (wie im oberen Bild). Überlegen Sie, welche Zeitspanne vor und nach dem Signalbeginn Sie im Oszilloskop bei der Einstellung H 200ns überblicken können!

☞ **Triggern Sie abwechselnd auf CH1 und CH2 und überlegen Sie, warum man, je nachdem, auf welchen Detektor man triggert, nur im einen oder im anderen Detektor Signale von γ -Quanten der Untergrundstrahlung beobachten kann?**

V.3.3. Koinzidenzen

Bitte Sie nun den Betreuer, die Na-22-Quelle in den Quellenhalter einzusetzen und stellen Sie den beweglichen NaI-Detektor auf den Winkel $\varphi=180^\circ$ ein!

Man sollte jetzt deutlich die koinzidenten Signale von beiden Detektoren sehen können. Außerdem sieht man, dass der Strahlerstift offenbar zwei unterschiedliche γ -Energien emittiert.



Zeigen Sie durch Variation der Triggerschwelle, dass nur die niederenergetische 511-keV-Strahlung koinzident emittiert wird und die aus dem Kern stammende höherenergetische Strahlung (1,275 MeV) mit diesem Prozess nichts zu tun hat.

Triggern Sie das Oszilloskop abwechselnd mit dem einen oder anderen Detektor und schätzen Sie anhand des Oszilloskopbildes ab, wie viele Koinzidenzen es in 1 Minute ungefähr gibt.

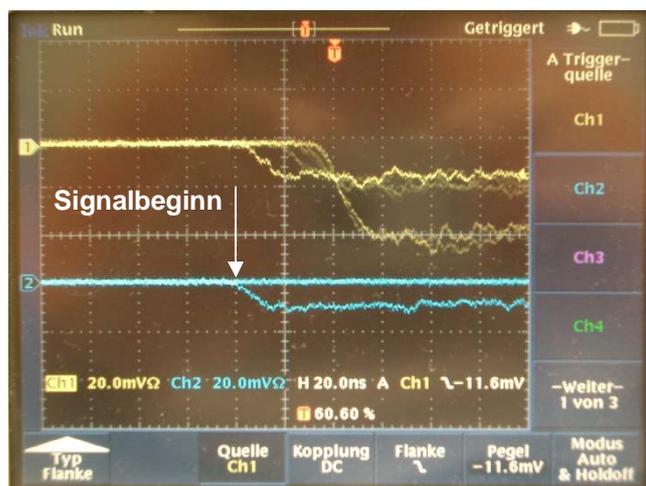
V.3.4. Signalgeschwindigkeit in Kabeln

Bei vielen Experimenten in der GSI legen die elektrischen Signale in Kabeln weite Wege zurück und werden dabei gedämpft und zeitlich verzögert. Diesen Effekt sollen Sie nun untersuchen.

Triggern Sie auf CH1 und beobachten Sie den Signalbeginn in CH2 (evtl. Horizontal-Position-Reglers verwenden)

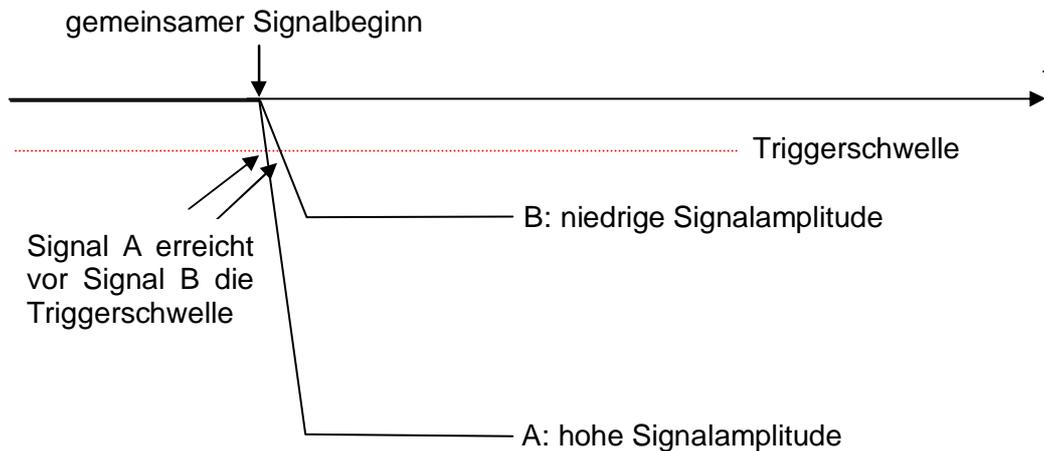
Verlängern Sie nun den Signalweg für das Signal an CH2 mit einem weiteren BNC-Kabel (Länge messen!) und bestimmen Sie am Oszilloskop die **Verzögerung des Signalbeginns (in ns)**. Um brauchbare Messergebnisse ablesen zu können, sollten Sie die Horizontaleinstellung auf **H 20.0 ns** einstellen.

Berechnen Sie aus Ihren Messwerten die **Signalgeschwindigkeit** im Kabel (in m/s) und in **Prozent der Lichtgeschwindigkeit** ($c = 300\,000\text{ km/s}$).



V.4. Die elektronische Aufbereitung der Detektorsignale

Die letzte Aufgabe hat gezeigt, dass die Zeitmessung bei den teilweise sehr unregelmäßig geformten Detektorsignalen sehr schwierig ist. Sie haben vielleicht auch bemerkt, dass der Moment, in dem ein Signal die Triggerschwelle überschreitet, von seiner maximalen Höhe (Amplitude) abhängig: ein großes Signal wird diese Schwelle früher erreichen als ein kleines Signal:



Mit den Signalen, wie sie aus den Vorverstärkern kommen, kann man aus den genannten Gründen Koinzidenzen elektronisch nur sehr schwer nachweisen. Daher werden die Detektorsignale in weiteren Elektronikmodulen weiterverarbeitet, bevor sie zum Feststellen einer Koinzidenz genutzt werden können.

V.4.1. Der Hauptverstärker (Timing Filter Amplifier TFA)

Die in den Multipliergehäusen eingebauten Vorverstärker dienen dazu, die schwachen Detektorsignale zu verstärken und durch ein Kabel zum jeweiligen Hauptverstärker zu treiben.

Die Hauptverstärker haben nun zwei Aufgaben:

- Verstärkung der Signale aus den Vorverstärkern
- Impulsformung zur weiteren elektronischen Signalverarbeitung

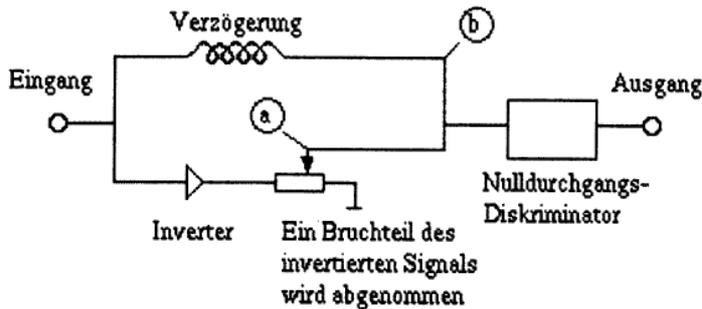
In beiden Fällen darf der Hauptverstärker die gewünschte Information nicht verändern. Die strenge Proportionalität zwischen Ein- und Ausgangssignal (bei Station 5 wegen der Impulshöhenmessung notwendig) ist in diesem Experiment nicht von Bedeutung. Statt dessen ist für die Zeitmessung in diesem Koinzidenzexperiment ein schnelles Ansprechvermögen gefordert, weshalb hier ein sog. Timing-Filter-Amplifier (TFA) als Hauptverstärker eingesetzt wird.

Mit dem TFA können insbesondere die Pulsformen verändert und das Signal-zu-Rausch-Verhältnis für die Zeitmessung verbessert werden. Durch geeignete Wahl der eingebauten Differenzier- bzw. Integrierglieder kann die Anstiegszeit des Spannungsimpulses am Ausgang für die Weiterverarbeitung optimiert werden.



V.4.2. Der Constant Fraction Diskriminator Verstärker (CFD)

Für die genaue Zeitmessung, die bei Koinzidenzexperimenten gefordert wird, muss der Zeitpunkt des Eintreffens eines Detektorsignals möglichst unabhängig von der Signalhöhe (Amplitude) festgestellt werden. Man erreicht dies üblicherweise mit Hilfe des sog. **Constant-Fraction-Verfahrens**. Dazu wird das Signal am Eingang dieses Elektronik-Moduls aufgeteilt. Das (in der Abbildung „obere“) Teilsignal wird dann mit einem Kabel entsprechender Länge (externes Delay) verzögert (b). Das andere (in der Abbildung „untere“) Teilsignal wird invertiert und auf einen konstanten Bruchteil abgeschwächt (a).

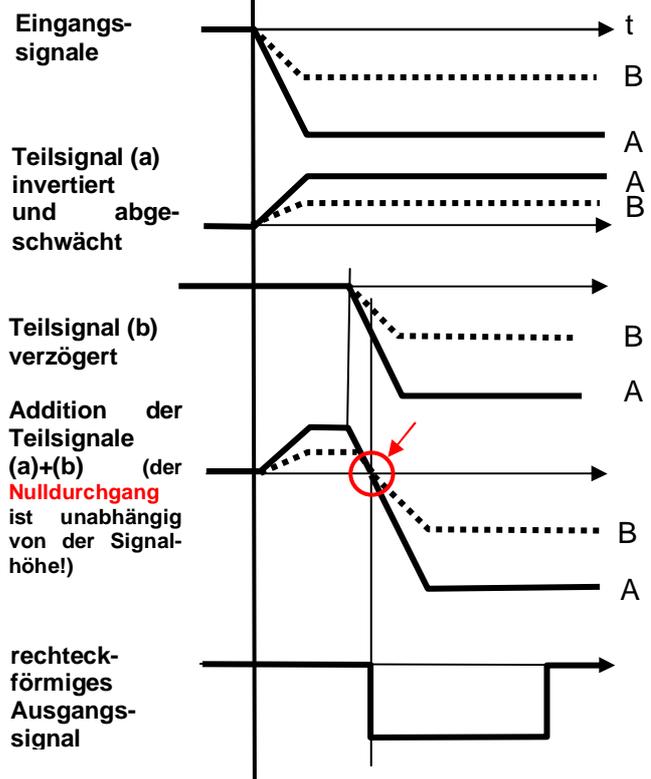


Anschließend werden beide Teilsignale vereinigt, d.h. addiert (a+b). Der Nulldurchgang dieses Gesamtsignals wird intern in einem sog. Nulldurchgangsdiskriminator festgestellt und ein rechteckförmiges

Ausgangssignal (sog. „**Zeitsignal**“) erzeugt.

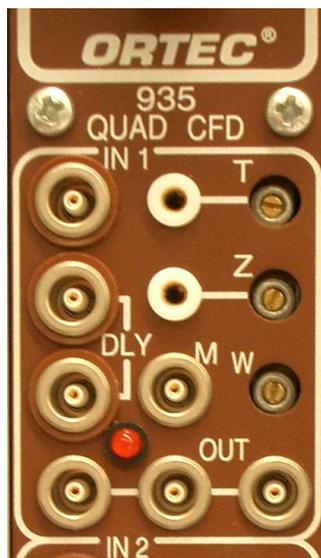
In der rechten Abbildung sind die zeitlichen Signalverläufe für alle Stationen der Signalverarbeitung im CFD noch einmal für ein **Signal A** mit hoher und ein **Signal B** mit geringer Amplitude aufgezeichnet.

Der Beginn des Zeitsignals ist damit von der Amplitude und der Anstiegszeit des Eingangssignals unabhängig. Das Zeitsignal enthält also nur noch die Information über den genauen Zeitpunkt des Eintreffens des Detektorsignals und keinerlei Informationen mehr über die ursprüngliche Signalhöhe.



Insgesamt sind in dem QUAD-CFD-Einschub 4 unabhängig arbeitende CFD-Verstärker untergebracht, von denen

aber nur zwei verwendet werden. Die Ausgangssignale der CFD-Verstärker können noch in ihrer Form verändert werden. Dazu dienen 3 an der Frontplatte nur mit einem Schraubendreher zugängliche Bedienelement („T“, „Z“ und „W“). Diese Einstellungen wurden bereits optimiert und dürfen nicht verändert werden. Für Interessierte ist die Einstellung dieser Elemente im Kapitel „Hintergrundwissen“ beschrieben.

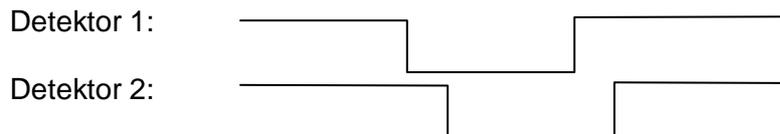


 **Änderungen der CFD-Einstellungen sind nur in Absprache mit einem Betreuer erlaubt!**

V.4.3. Die Koinzidenz - Einheit

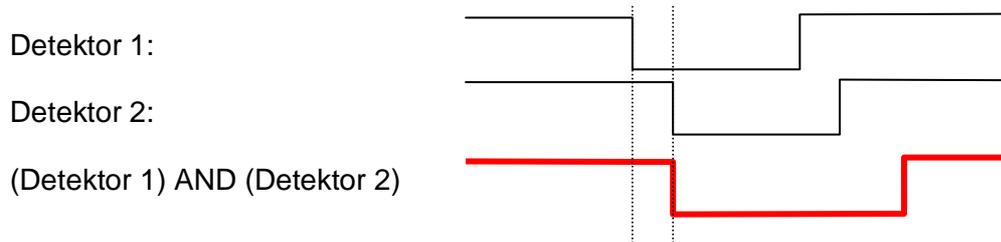
Vielleicht haben Sie sich gefragt, warum man einen solchen Aufwand wie das Constant-Fraction-Verfahren treibt, um eine Koinzidenz festzustellen, die man doch schon mit dem Oszilloskop hat beobachten können.

Fassen wir das bisher Erreichte noch einmal kurz zusammen und betrachten noch einmal die rechteckförmigen Zeitsignale (dabei soll es uns nicht stören, dass die "realen" Signale natürlich nicht die hier gezeichnete ideale Rechteckform haben). Bei einer Koinzidenz wird jeder der beiden Detektoren in seinem Zweig ein solches Signal erzeugen.



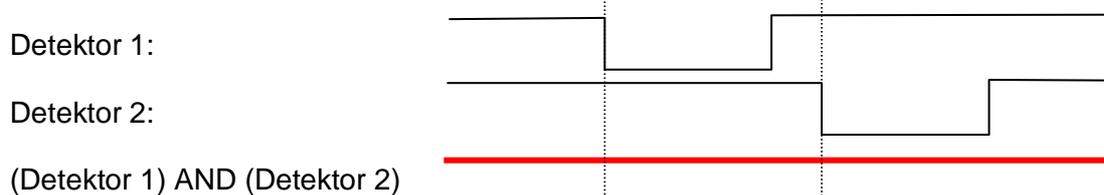
Obwohl es sich um eine Koinzidenz handelt, werden die beiden Signale nur in den seltensten Fällen wirklich deckungsgleich am Oszilloskop zu beobachten sein. Dies liegt vor allem daran, dass die Signale bei Ihrer elektronische Verarbeitung im Vorverstärker, TFA und CFD und in den Verbindungskabeln unterschiedlich verzögert wurden.

Mit Hilfe einer elektronischen UND-Schaltung (logisches "AND") kann man die Koinzidenz der beiden Rechtecksignale sehr einfach feststellen:



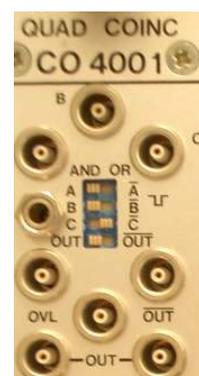
Man erkennt, dass das Signal „(Detektor 1) AND (Detektor 2)“ genau dann gebildet wird, wenn die Vorderflanke des 2. Rechtecksignals innerhalb des 1. Rechtecksignals erfolgt. Die Dauer dieses neuen Signals kann über die Elektronik fest eingestellt werden.

Gibt es keinen zeitlichen Überlapp der beiden Detektorsignale, wird kein neues Signal erzeugt:



Diese logische Schaltung ist in der sog. „Quad-Coincidence-Unit“ enthalten. Sie ist ein GSI-Eigenbau und 4-fach ausgelegt. Sie erzeugt am jeweiligen Ausgang „OUT“ ein Logiksignal, wenn die Signalpegel an den Eingängen A, B und C entsprechende Werte haben. Die logische Verknüpfung (AND oder OR) kann an 4 Miniaturschaltern eingestellt werden (siehe Abbildung). Die Länge des Ausgangssignals ist auf 20 ns fest eingestellt.

Wenn, wie im vorliegenden Fall, die von den CFDs kommenden Zeitsignale an den Eingängen A und B anliegen, muss folgerichtig „A AND B AND (NOT C)“ eingestellt werden, da ja der Eingang C unbeschaltet bleibt.



Die Abbildung unten zeigt die Eingangssignale A (an Ch1, oben), B (an Ch2, Mitte) und das Ausgangssignal OUT (an Ch3, unten) der Quad-Koinzidenz-Einheit:

☞ Stellen Sie alle Logiksignale wie hier gezeigt auf dem Oszilloskop dar (die Einstellungen sind in „Einstell.3“ gespeichert). Verbinden Sie dazu die 3 von der Koinzidenzeinheit kommenden LEMO-Kabel mit den Eingängen des Oszilloskops: A → Ch1, B → Ch2, Out → Ch3. Schalten Sie mit dem entsprechenden Signaleingangsschalter den 3. Kanal ein und triggern Sie nacheinander mit Ch1, Ch2 und Ch3. Interpretieren Sie Ihre Beobachtungen!



V.4.4 Zeitgeber (Timer) und Zähler (Scaler)

Nun müssen die Koinzidenzsignale nur noch gezählt werden. Dafür werden die Ausgangssignale der Koinzidenzeinheit einem elektronischen Zähler zugeführt, dessen Bereitschaft („Gate“) von einem einstellbaren Zeitgeber gesteuert wird.

☞ Machen Sie sich mit der Bedienung des Timers / Scalers vertraut:

- Vor jeder neuen Messung muss der Scaler auf Null zurückgestellt („resetiert“) werden:
 - Linken Kippschalter auf „OFF“
 - Roten RESET-Knopf drücken
 - Linken Kippschalter wieder auf „ON“
- Start der Messung durch Drücken der „Start“-Taste am Timer
- Je nach eingestelltem Zeitbereich (1-8) wird die Messung nach einer bestimmten Messzeit automatisch gestoppt. **Wählen Sie den Zeitbereich „2“ (32s).**
- Durch Drücken der „Stop“-Taste kann eine laufende Messung vorzeitig abgebrochen werden.



V.5. Die Messung des Zeitspektrums

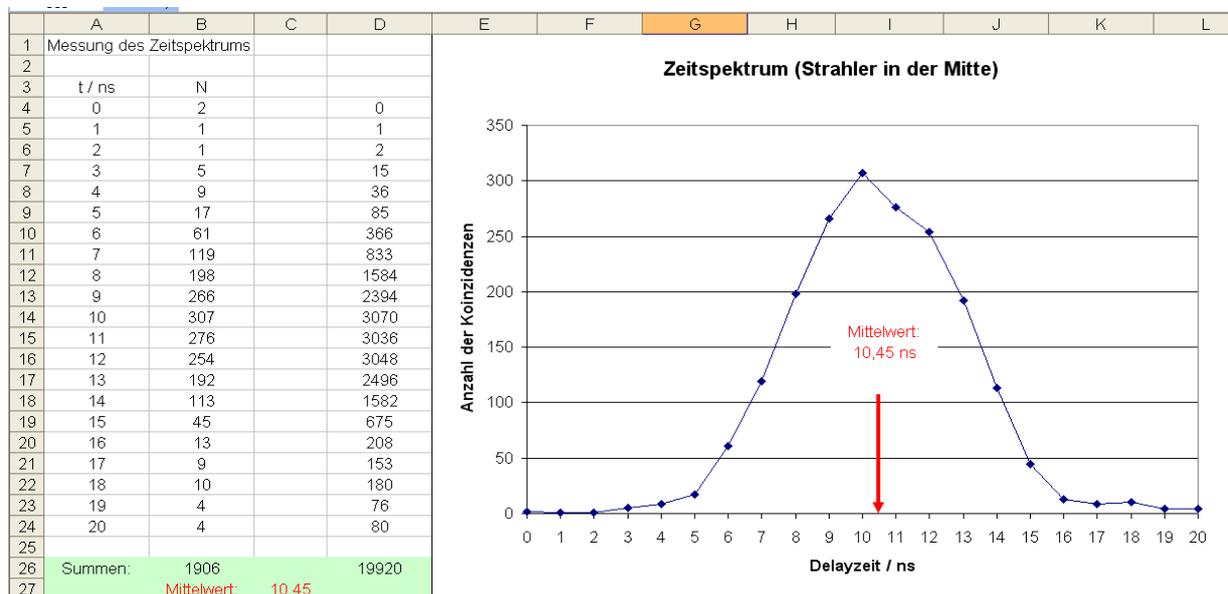
Nach dem Einstellen der Elektronik ist die zeitliche Abfolge der Logiksignale der beiden Detektoren noch nicht optimal. Wegen der oftmals unbekanntem Verarbeitungszeiten in den elektronischen Komponenten kann es sein, dass die Logiksignale die Koinzidenzeinheit nicht gleichzeitig erreichen, obwohl die beiden γ -Quanten ja gleichzeitig in die Detektoren eingefallen waren. Man macht dies mit Hilfe einer zusätzlichen festen Signalverzögerung in dem einen Detektorzweig, und einer variablen, einstellbaren Verzögerung in dem andern Detektorzweig (Delay-Box mit 0 bis 63 ns Verzögerungszeit, vgl. Elektronik-Prinzipschaltbild oben). Mit dem folgenden Verfahren bestimmen Sie die optimale Verzögerungszeit für diesen Zweig:

-  Stellen Sie zunächst mit Hilfe des Oszilloskops die optimale Verzögerungszeit an der Delay-Box ein. Orientieren Sie sich dazu an dem Bild auf der vorigen Seite.
-  Variieren Sie die Verzögerungszeit 1ns-Schritten sowohl zu kürzeren wie zu längeren Zeiten und nehmen Sie jeweils die Koinzidenzzählrate auf.

Achtung: Bei dieser Messung müssen die von der Koinzidenzeinheit (CO4001) kommenden Lemo-Kabel mit den Oszilloskopeingängen verbunden bleiben. Wegen der Gefahr von Signalreflexionen dürfen die Kabel keinesfalls unbeschaltet „herumliegen“!

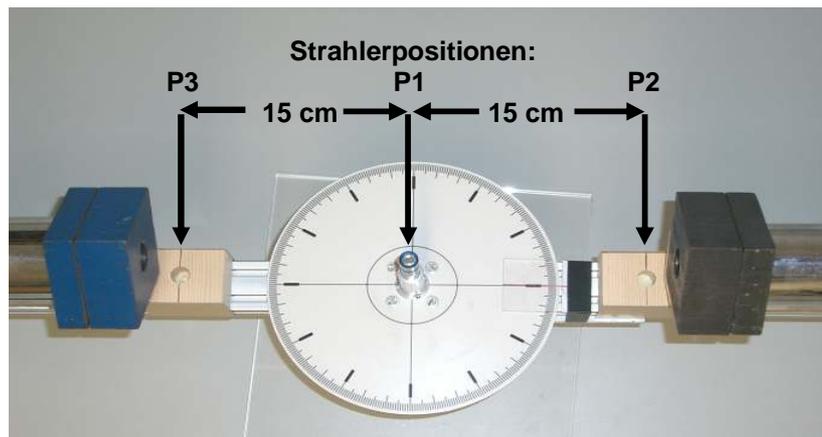
-  Tragen Sie die Ergebnisse dieser Messung in ein Koordinatensystem ein (Millimeterpapier oder EXCEL-Diagrammassistent, s.u.). Tragen Sie nach rechts die Verzögerungszeit (in ns) und nach oben die Koinzidenzzählrate auf. Man erwartet folgenden Verteilung: bei zu kurzen bzw. zu langen Delayzeiten beobachtet man praktisch keine echten Koinzidenzen. Bei einer ganz bestimmten Delayzeit ist der mittlere zeitliche Überlapp der beiden Logiksignale optimal und die Koinzidenzzählrate erreicht ein Maximum.

Sie können diese optimale Delayzeit durch Bildung des arithmetischen Mittels aus der Verteilung sehr exakt bestimmen. Im unten gezeigten EXCEL-Beispiel wird in Spalte D4 das Produkt A4*B4 usw. berechnet. Alle diese Produkte werden addiert, und die Summe durch die Summe der Spalte B geteilt. Dieser Mittelwert der Verteilung ist die optimale Delayzeit. Ihr auf 1 ns gerundeter Wert soll im weiteren Verlauf des Experimentes verwendet werden.



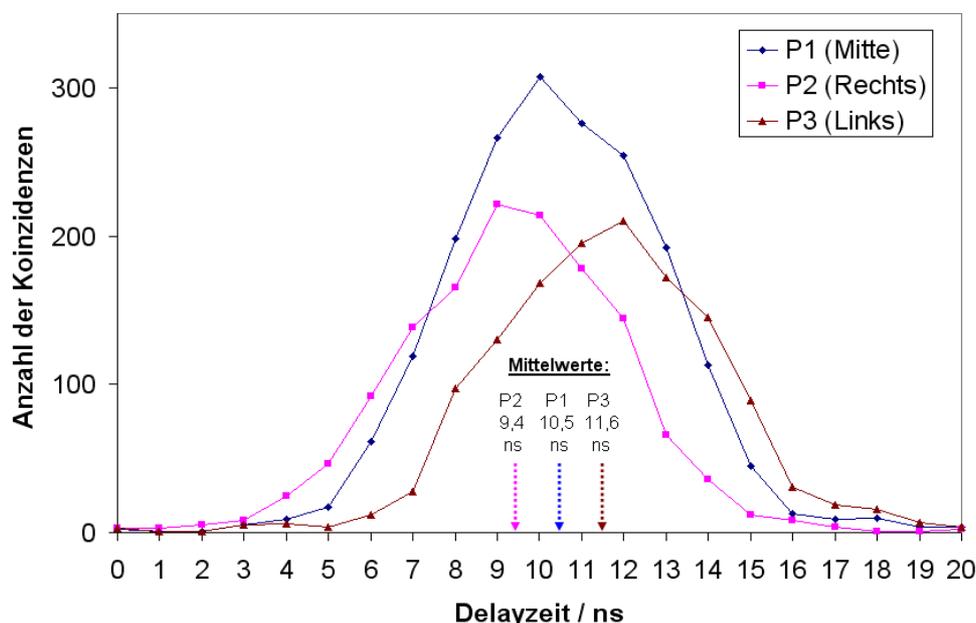
V.6. Die Messung der Geschwindigkeit der Gamma-Quanten

Im nächsten Teil des Experiments soll nun die Geschwindigkeit der koinzidenten γ -Quanten gemessen werden. Zu diesem Zweck sind unmittelbar vor den Bleikollimatoren noch 2 zusätzliche Quellenhalter angebracht (vgl. Abbildung unten). Bezeichnet P1 die Position des Strahlerstifts genau in der Mitte zwischen den Detektoren, so ist die Quelle in Position P2 um 15 cm näher am rechten (feststehenden) NaI-Detektor, und entsprechend 15 cm weiter entfernt vom linken (beweglichen) NaI-Detektor. Umgekehrtes gilt für die Position P3. Für die Interpretation der folgenden Messungen ist es eigentlich nur wichtig sich klarzumachen, dass in den Strahlerpositionen P2 und P3 der Wegunterschied zu den NaI-Detektoren jeweils 30 cm beträgt!



- ☞ Bringen Sie den Strahlerstift nacheinander in die Position P2 und P3 und nehmen Sie jeweils noch einmal ein Zeitspektrum wie in V.5. auf.
- ☞ Stellen Sie alle Zeitspektren in einem Diagramm dar und berechnen Sie für jede Strahlerposition die optimale Delayzeit durch Mittelwertbildung aus. Interpretieren Sie ihre Messung und berechnen Sie aus Ihren Werten die Geschwindigkeit der γ -Quanten.

Zeitspektren bei unterschiedlichen Strahlerpositionen



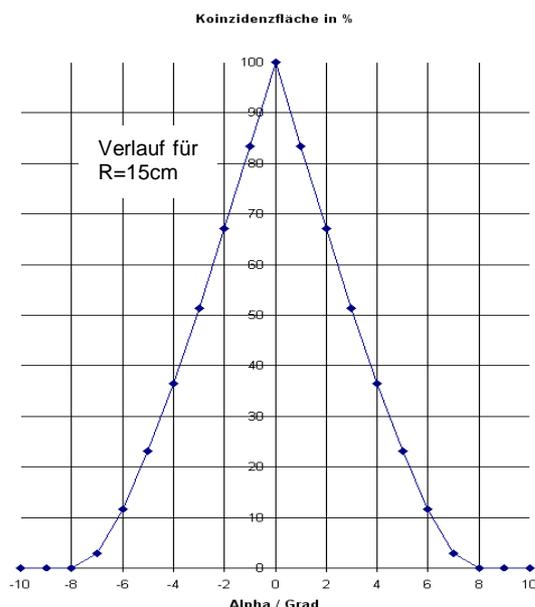
V.7. Die Messung der Gamma-Gamma-Winkelverteilung

In Position P1 stehen die beiden NaI – Detektoren im jeweils gleichen Abstand ($R=16\text{cm}$) von der Na-22-Quelle unter einem einstellbaren Winkel φ einander gegenüber.

Geprüft werden soll im letzten Teil des Experimentes, ob die beiden γ -Quanten der Vernichtungsstrahlung von der Quelle tatsächlich in genau zwei entgegengesetzten Richtungen emittiert werden.

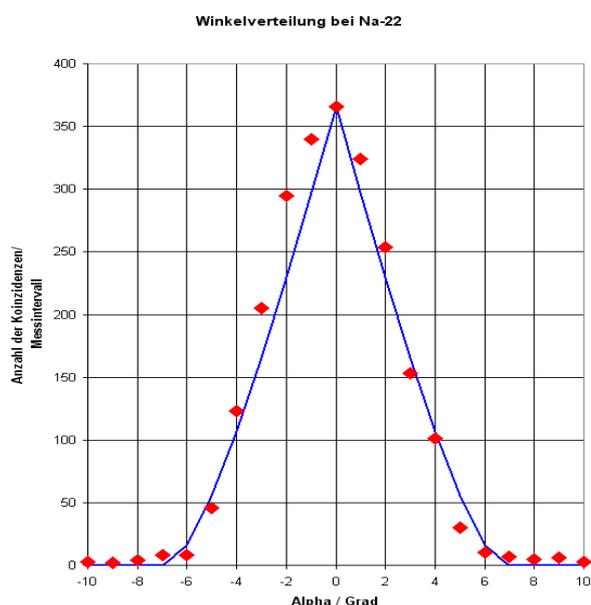
Dazu muss man offensichtlich den Winkel zwischen den beiden NaI-Detektoren in kleinen Schritten ändern und jeweils die Koinzidenzzählrate in Abhängigkeit des Einstellwinkels messen. Doch bevor man mit einer entsprechenden Messung beginnt, sollte man sich noch einmal genau überlegen, welches Ergebnis man bei einer solchen Messung theoretisch erwarten sollte.

 Lesen Sie im Kapitel H.3. Berechnung der Koinzidenzfläche (Hintergrundwissen) noch einmal nach, wie man den Zusammenhang zwischen Einstellwinkel $\alpha=180^\circ-\varphi$ und der „Koinzidenzfläche“ als Überlapp von zwei Kreisflächen ermittelt. Diese Koinzidenzfläche wiederum ist proportional zu der erwarteten Koinzidenzzählrate.



Bei $\varphi = 180^\circ$, d.h. $\alpha = 0^\circ$ erwartet man das Maximum der Koinzidenzzählrate. Wegen der Kreisform der Bleikollimatoren kommt es zu einem spitzen, fast dreiecksförmigen Verlauf der Zählrate in Abhängigkeit vom Einstellwinkel. Außer dem Einstellwinkel α geht noch der Radius $r=1\text{cm}$ der Kollimatorblenden sowie der Abstand R (nachmessen!) der Kollimatoren von der Quelle in die Berechnung ein.

Diese Rechnung steht in Form des EXCEL-Arbeitsblattes („Koinzidenzraumwinkel“) am Arbeitsplatzcomputer zur Verfügung.



 Nehmen Sie durch Variation des Winkels α im Bereich $-10^\circ \leq \alpha \leq +10^\circ$ die Winkelverteilung der Koinzidenzrate in 1° -Schritten auf und stellen Sie diese grafisch dar (rote Punkte links).

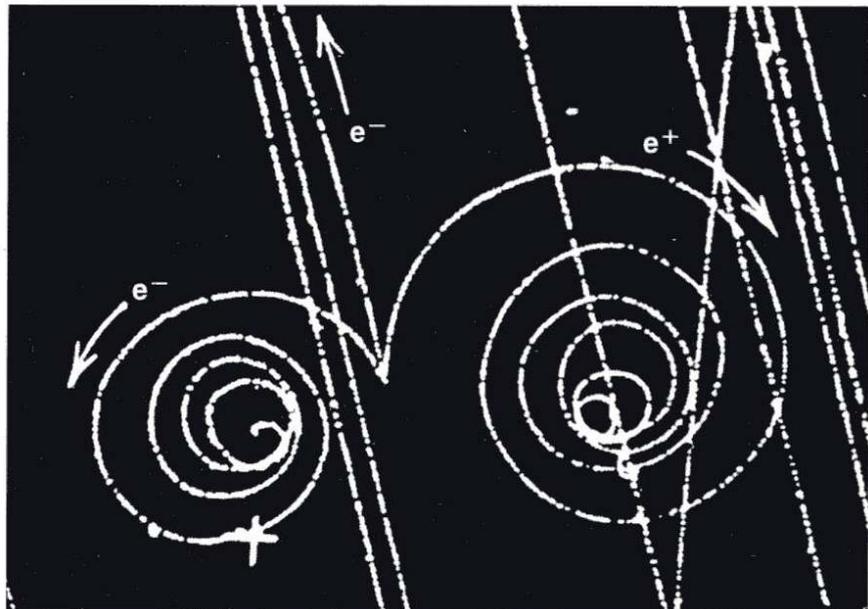
 Vergleichen Sie die gemessene Winkelverteilung mit dem erwarteten theoretischen Verlauf. Versuchen Sie dazu, die gemessene Winkelverteilung gemeinsam mit dem geeignet skalierten berechneten Verlauf der Koinzidenzfläche in ein und demselben Diagramm darzustellen. (Vgl. linkes Diagramm: Theorie – blau, Messwerte – rot)

Hintergrundwissen

H.1. Das Positron und die e^+e^- -Vernichtungsstrahlung

Im Gegensatz zur natürlichen Radioaktivität treten beim Zerfall künstlicher Radioisotope häufig positive Elektronen bzw. Positronen auf. Sie unterscheiden sich von den Elektronen lediglich durch das positive Vorzeichen ihrer Ladung. Positronen werden von Kernen mit einem Protonenüberschuss emittiert. Dabei wird ein Proton in ein Neutron umgewandelt:

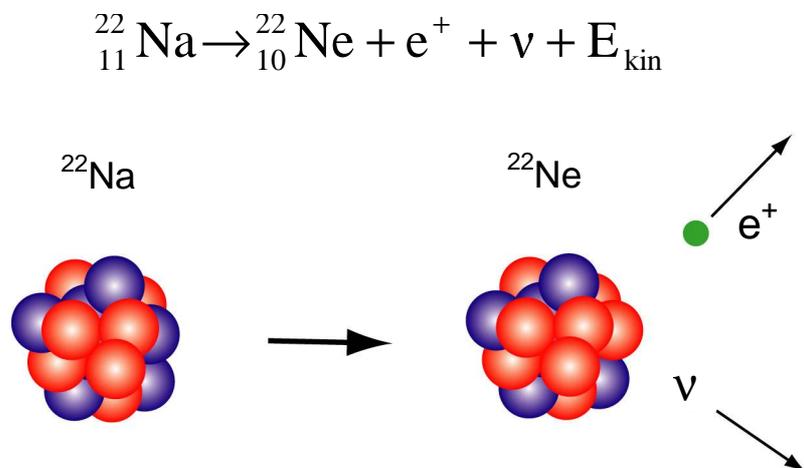
Das **Positron** (e^+) wurde 1932 von ANDERSON bei der Durchmusterung von Nebelkammeraufnahmen mit Teilchenspuren entdeckt, die durch Höhenstrahlung erzeugt worden waren. Die Kammer befand sich in einem Magnetfeld, sodass sich die Bahnen von Elektronen und Positronen wegen ihrer entgegengesetzten Ladungen durch die Krümmung unterscheiden



1934 entdeckte das Ehepaar JOLIOT-CURIE das Positron auch beim Zerfall künstlich hergestellter radioaktiver Elemente.

Betrachten wir diesen Vorgang anhand des Isotops ^{22}Na , das wir auch im Experiment verwenden. Gegenüber dem „normalen“ Natriumisotop ^{23}Na , das man vom Kochsalz (NaCl) kennt, hat ^{22}Na ein Neutron weniger, und ist daher instabil. Mit einer Halbwertszeit von 2,60 Jahren zerfällt es in das stabile ^{22}Ne -Isotop, indem sich im Kern ein Proton in ein Neutron umwandelt.

Wie man sieht, tritt bei der Umwandlung des Protons in ein Neutron neben dem Positron ein weiteres Teilchen, das **Neutrino** ν , auf. Durch Emission des Positrons erniedrigt sich die Kernladungszahl um eins. Der Zerfall eines freien Protons ist energetisch unmöglich, da die Masse des Protons kleiner ist als die des Neutrons.



Man muss sich fragen, warum ein Überschuss an Protonen in einem Kern nicht einfach durch Emission eines Protons beseitigt wird. Die Begründung dafür ist folgende: Für die Emission eines Protons muss eine Energie in der Größenordnung der mittleren Bindungsenergie pro Nukleon (ca. 8 MeV) zur Verfügung stehen. Dagegen wird zur Erzeugung eines Positrons die seiner Ruhemasse

äquivalente Energie von 0,511 MeV sowie ein weiterer Energiebetrag, der der Differenz der Massen von Neutron und Proton entspricht, benötigt. Da sich außerdem bei der Umwandlung eines Protons in ein Neutron die Bindungsenergie wegen der Abnahme der elektrostatischen Ladung vergrößert, wird für den Prozess der Emission eines Positrons insgesamt nur eine Energie von ca. 1 MeV benötigt, also wesentlich weniger als zur Emission eines Protons.

Das Positron ist das **Antiteilchen** des Elektrons, mit dem es bis auf seine elektrische Ladung in allen Eigenschaften übereinstimmt. Es gehört damit zur sog. **Antimaterie** und kommt in unserer „normalen“ Welt aus Materie normalerweise nicht vor. Wird es, wie im vorliegenden Fall, in einem Kernzerfall emittiert, dann wird es in der Folge durch Stöße abgebremst und trifft schließlich auf irgendein Elektron, mit dem es ein sehr kurzlebiges sogenanntes „**Positronium-System**“ bildet, in dem Positron und Elektron um den gemeinsamen Schwerpunkt rotieren. Dieses System hat nur eine sehr kurze Lebensdauer von wenigen Nanosekunden. Bei seinem Zerfall vernichten sich Elektron und Positron gegenseitig. Dabei verschwindet das Positron-Elektronenpaar und seine gesamte Masse

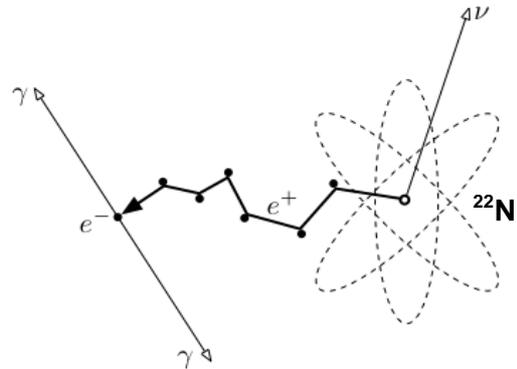
$$m = m_{\text{Elektron}} + m_{\text{Positron}}$$

wird gemäß der berühmten Einsteinschen Gleichung

$$E = m \cdot c^2$$

(Lichtgeschwindigkeit $c = 300000 \text{ km/s}$)

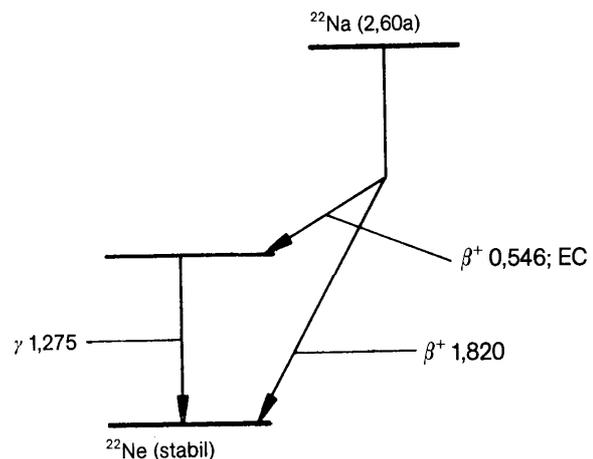
in Strahlungsenergie E umgewandelt.



Man nennt diese „Zerstrahlung“, bei der Materie gewissermaßen aus unserer Welt „verschwindet“ auch **Paarvernichtung** bzw. **Anihilation**. Wegen des Impulserhaltungssatzes entstehen dabei zwei gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung auseinander fliegende γ -Quanten mit einer Energie von je 511 keV (Ruheenergie des Elektrons bzw. des Positrons).

H.1.1. Der Strahlerstift mit der Na-22-Quelle

Das Natrium-22 ist in einer Polyesterfolie eingeschweißt und fixiert. Diese Scheibe ist zusätzlich in dem Strahlerhalter mit einer Edelstahlfolie (Dicke 0,02 mm; $\sim 16 \text{ mg/cm}^3$) abgedeckt. Neben den Positronen tritt auch noch γ -Strahlung und die durch den Präparateaufbau bedingte Vernichtungsstrahlung (**) aus. Das Zerfallsschema mit den entsprechenden Energien ist rechts dargestellt.

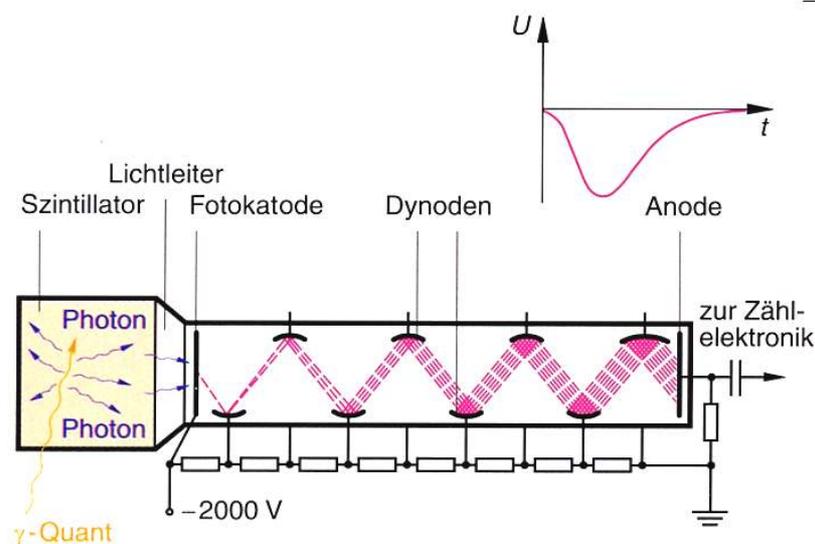


	HWZ	β -Energie [MeV]	Übergangswahrscheinlichkeit %	γ -Energie emittiert [MeV]	emittiert %
^{22}Na	2,60a	0,546	90,49	0,511**	(von β^+)
		1,820	0,05	1,275	99,95
		EC	9,46		

H.2. Nachweis von Gamma-Quanten mit einem NaI-Szintillationszähler

Die ersten Szintillationszähler bestanden aus einem Zinksulfidschirm und einem Mikroskop. Treffen zum Beispiel α -Teilchen oder γ -Quanten auf den Zinksulfidschirm, so erzeugen sie kurze Lichtblitze, die man mit einem Mikroskop beobachten kann. Mit dieser Methode untersuchte RUTHERFORD die Streuung von α -Teilchen an Atomkernen. Da das menschliche Auge diese kurzen Lichtblitze nur unzuverlässig registriert, wurde dieses Messprinzip bald nicht mehr benutzt und erst wieder verwendet, als es möglich wurde, die Lichtblitze mit einem Fotomultiplier (Sekundärelektronenvervielfacher) elektronisch zu verarbeiten.

Den grundlegenden Aufbau eines modernen Szintillationszählers zeigt die nächste Abbildung. Als Szintillatoren sind zahlreiche feste, flüssige anorganische oder organische Stoffe geeignet. Häufig werden Natriumiodidkristalle verwendet, die mit Thallium dotiert sind (NaI(Tl)). Die Thalliumatome dienen dabei als Leuchtzentren. Der Vorteil von Szintillationsdetektoren besteht in der von ihnen erreichbaren Größe: Kristallszintillatoren können Rauminhalte in der Größenordnung einiger Liter haben; die Rauminhalte von Plastik- oder Flüssigkeitsdetektoren sind unbegrenzt. Daher besitzen sie eine hohe Nachweiseffektivität für γ -Strahlung.

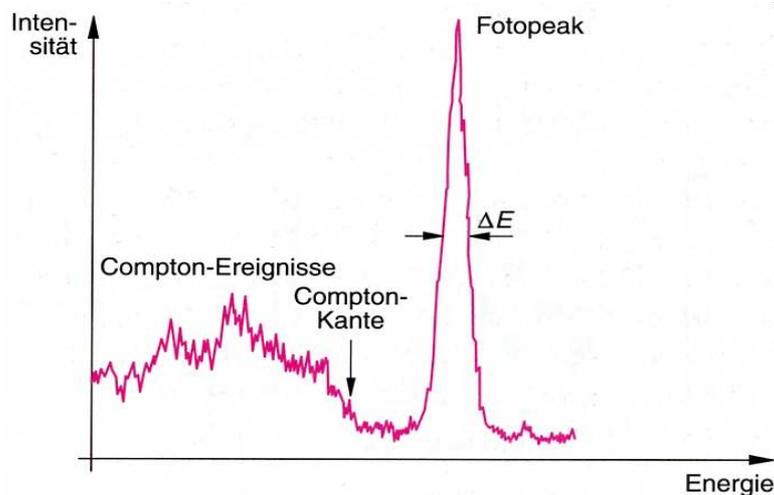


Ein γ -Quant kann im Szintillatormaterial seine gesamte Energie oder einen Teil davon auf ein Elektron übertragen. Dieses Elektron wiederum verliert seine Energie, indem es im Szintillator entlang seiner Bahn andere Elektronen in energetisch höhere Energiezustände hebt. Diese Anregungen werden durch Emission von Photonen wieder abgebaut. Ein Teil der Photonen gelangt durch einen Lichtleiter auf die Fotokatode des Fotomultipliers und löst dort Elektronen aus. Diese Elektronen werden in einer Kette von Elektroden, den so genannten Dynoden, beschleunigt, sodass ein Elektron auf jeder Dynode zwei bis fünf weitere Elektronen auslöst. Die Elektronen werden von der Anode aufgefangen und erzeugen an einem Widerstand einen Spannungsimpuls. So erreicht man Gesamtverstärkungen bis zu 10^9 , das bedeutet, dass ein einzelnes Elektron in dem Fotomultiplier bis zu 1 Milliarde Sekundärelektronen erzeugt.

Eine geringe Anzahl Photonen, die im Szintillator entstehen, erzeugt also am Ausgang des Multipliers einen messbaren elektrischen Impuls. Die Höhe dieses Impulses ist proportional zur Energie, die das einfallende γ -Quant im Szintillator an das Elektron abgegeben hat.

Diese Spannungsimpulse werden nun elektronisch weiterverarbeitet. Dabei kommt es sehr auf die Fragestellung an. Will man z.B. die genaue Energie des registrierten γ -Quants messen, dann nutzt man den energieproportionale Ausgangsimpuls des Multipliers und verstärkt

ihn linear. Seiner Größe entsprechend wird dem Impuls eine digitale Zahl zugeordnet, die dann registriert und ihrer Häufigkeit nach in einem Histogramm wird. Auf diese Weise ist es möglich, ein Energiespektrum der γ -Strahlung eines radioaktiven Präparates aufzunehmen:



Die Abbildung zeigt ein Spektrum, das man durch die mono-energetische 511-keV- γ -Strahlung eines Natrium 22-Präparates erhält. Die nach rechts abgetragene Energie ist der Höhe der registrierten Primärpulse proportional, die Anzahl der in einem Zeitintervall registrierten Impulse einer bestimmten Höhe entspricht der Intensität. Man erkennt ein relativ scharfes Maximum, den so genannten Fotopeak, der dadurch zustande kommt, dass das γ -Quant in einem einzigen Prozess, dem Photoeffekt, seine gesamte Energie an ein Elektron abgibt. Das Elektron erzeugt dann im Kristall die Anregungen und bei deren Abbau die als Lichtblitze registrierten Photonen. Außer dem Fotopeak wird offenbar noch Strahlung geringerer Energie registriert. Hierfür ist der mit den Elektronen im Kristall stattfindende Compton-Effekt verantwortlich. Das γ -Quant gibt dabei nur einen Teil seiner Energie an ein Elektron ab. Der Betrag der abgegebenen Energie hängt vom Streuwinkel ab und hat seinen höchsten Wert für eine Rückwärtsstreuung des γ -Quants. Auch die Energie der an diesem Prozess beteiligten Elektronen wird wie oben als ein Lichtblitz bestimmter Intensität registriert. Die Compton-Kante im Spektrum entsteht also durch die Elektronen, die ihre Energie bei einer Rückwärtsstreuung erhalten haben. Ferner wird Strahlung mit einer Energie registriert, die kleiner ist als die Energie der Compton-Kante. Hierfür sind die Streuprozesse mit Winkeln kleiner als 180° verantwortlich.

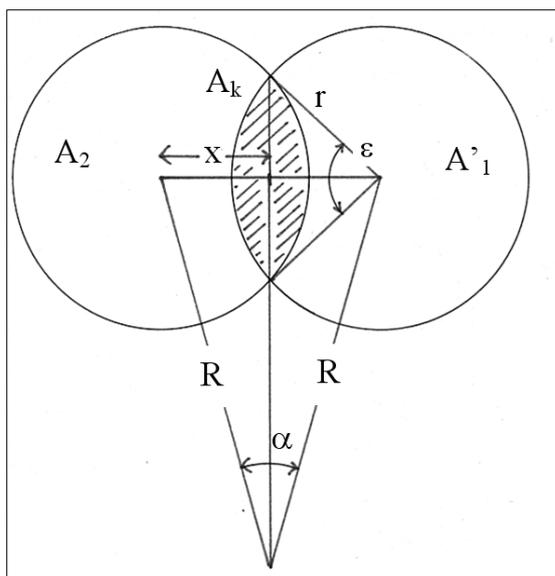
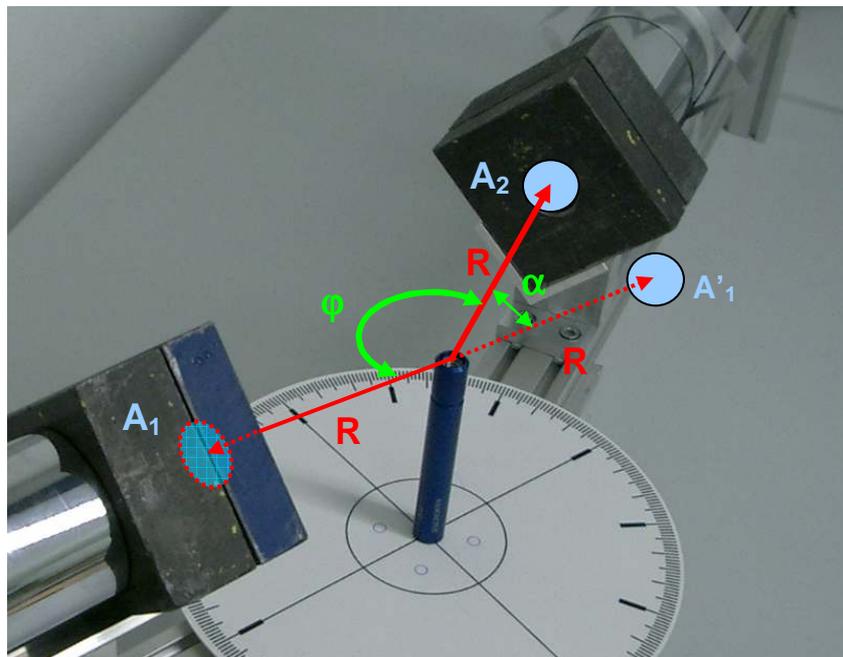
Der Fotopeak des Szintillationsspektrums hat in halber Höhe eine Breite ΔE . Diese Breite kommt durch stochastische Schwankungen beim Prozess der Registrierung der Strahlung zustande: Das γ -Quant erzeugt ein Photoelektron, das auf seinem Weg durch den Szintillator eine große Anzahl von Lichtquanten hervorruft. Die Zahl der Lichtquanten ist der Energie des γ -Quants proportional. Von diesen Lichtquanten trifft jedoch nur ein Teil auf die Fotokathode; ein anderer Teil wird im Szintillator und im Lichtleiter zwischen Szintillator und Fotokathode absorbiert. Die auf die Fotokathode des Multipliers auftreffenden Lichtquanten lösen aus dieser mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,05 bis 0,1 Elektronen aus. Man erkennt, dass die Zahl der im Multiplier erzeugten Elektronen um Größenordnungen geringer ist als die Zahl der im Szintillator erzeugten Lichtquanten. Die Schwankungen der Zahl der primär im Multiplier erzeugten Elektronen bestimmt also die Breite ΔE des Fotopeaks und damit die Energieauflösung $\Delta E/E$. Da es γ -Spektren gibt, deren Energiewerte dicht zusammenliegen, können diese von einem Szintillationszähler nicht mehr getrennt werden.

Zusammenfassung: In Szintillationsdetektoren übertragen γ -Quanten ihre Energie an Elektronen, die im Material Lichtquanten auslösen. Szintillationszähler besitzen eine hohe Nachweiseffektivität für γ -Strahlung. Ihr Nachteil besteht in der relativ geringen Energieauflösung $\Delta E/E$ von ca. 10%.

H.3. Berechnung der Koinzidenzfläche

Betrachten wir anhand der Abbildung die Geometrie mit der Na-22-Quelle und den beiden NaI-Detektoren noch einmal genau.

Nehmen wir an, ein γ -Quant der Vernichtungsstrahlung tritt durch die (in dieser Darstellung verdeckte) Fläche A_1 in den linken Detektor ein. Die Eintrittsfläche A_2 des zweiten Detektors befindet sich im gleichen Abstand R unter dem Einstellwinkel $\varphi < 180^\circ$. Dann wird das gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung emittierte zweite γ -Quant in Richtung des rot gestrichelten Pfeils in Richtung A'_1 fliegen, also den oberen Detektor um den Winkel $\alpha = 180^\circ - \varphi$ verfehlen und nicht nachgewiesen werden. Folglich kann auch keine Koinzidenz beobachtet werden. Koinzidenzen werden erst dann auftreten, wenn der Winkel α durch Drehen des beweglichen Detektorarms so klein wird, dass die Fläche A_2 mit der nach A'_1 projizierten Fläche des unteren Detektors überlappt.



Dies ist der nebenstehenden Skizze dargestellt: Sie zeigt die beiden gleichgroßen Kreisflächen A_2 und A'_1 , der in beiden Kreisen gleiche Radius r ist nur im rechten Kreis eingezeichnet. Die schraffierte Schnittfläche A_k ist die vom Winkel α abhängige Koinzidenzfläche.

In diesem Bild sind die beiden Kreismittelpunkte um die Strecke $2x$ voneinander getrennt, die unmittelbar vom Winkel α abhängt:

$$(1) \quad x = R \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right).$$

Weiterhin erkennt man, dass die Strecke x mit dem Kreisradius r verknüpft ist:

$$(2) \quad \frac{\varepsilon}{2} = \arccos\left(\frac{x}{r}\right) \text{ bzw.}$$

$$(3) \quad \varepsilon = 2 \cdot \arccos\left(\frac{x}{r}\right).$$

Betrachten wir nur den rechten Kreis (Abbildung). Die Fläche des von ε begrenzten Kreissegments A_{Segment} kann man einfach berechnen. Ist ε im Bogenmaß gegeben, so gilt:

$$A_{\text{Segment}} = \frac{\varepsilon}{2 \cdot \pi} \cdot \pi \cdot r^2 = \frac{\varepsilon}{2} \cdot r^2$$

Das Segment kann man nun in die (gelbe) Dreiecksfläche und den (orangenen) Kreisabschnitt unterteilen.

Das Lot auf r ist $h = r \cdot \sin \varepsilon$, damit ist die (gelbe)

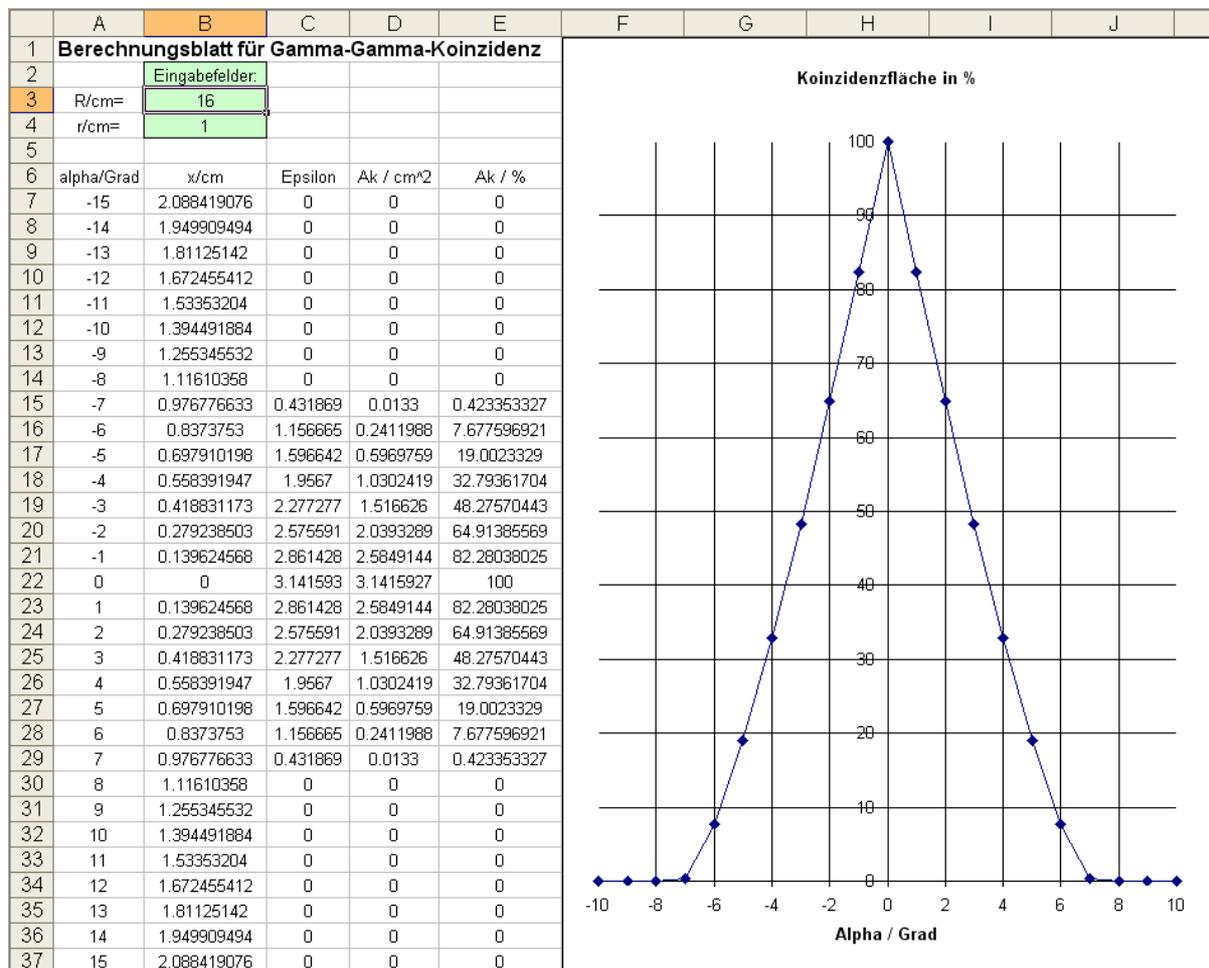
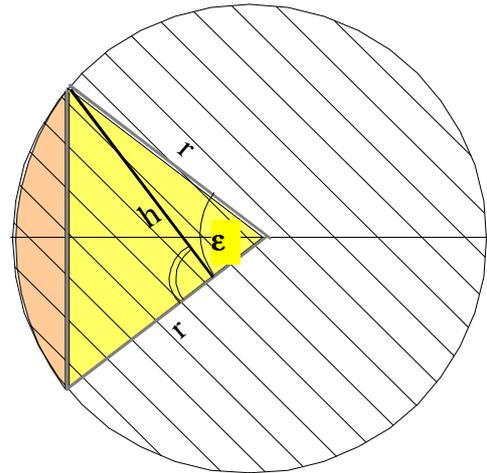
$$A_{\text{Dreieck}} = \frac{1}{2} \cdot r \cdot h = \frac{r^2}{2} \sin \varepsilon.$$

Der (orangene) Kreisabschnitt ist dann die Differenz $A_{\text{Segment}} - A_{\text{Dreieck}}$.

Die gesuchte Koinzidenzfläche A_K ist nun gerade das Doppelte dieses Kreisabschnittes:

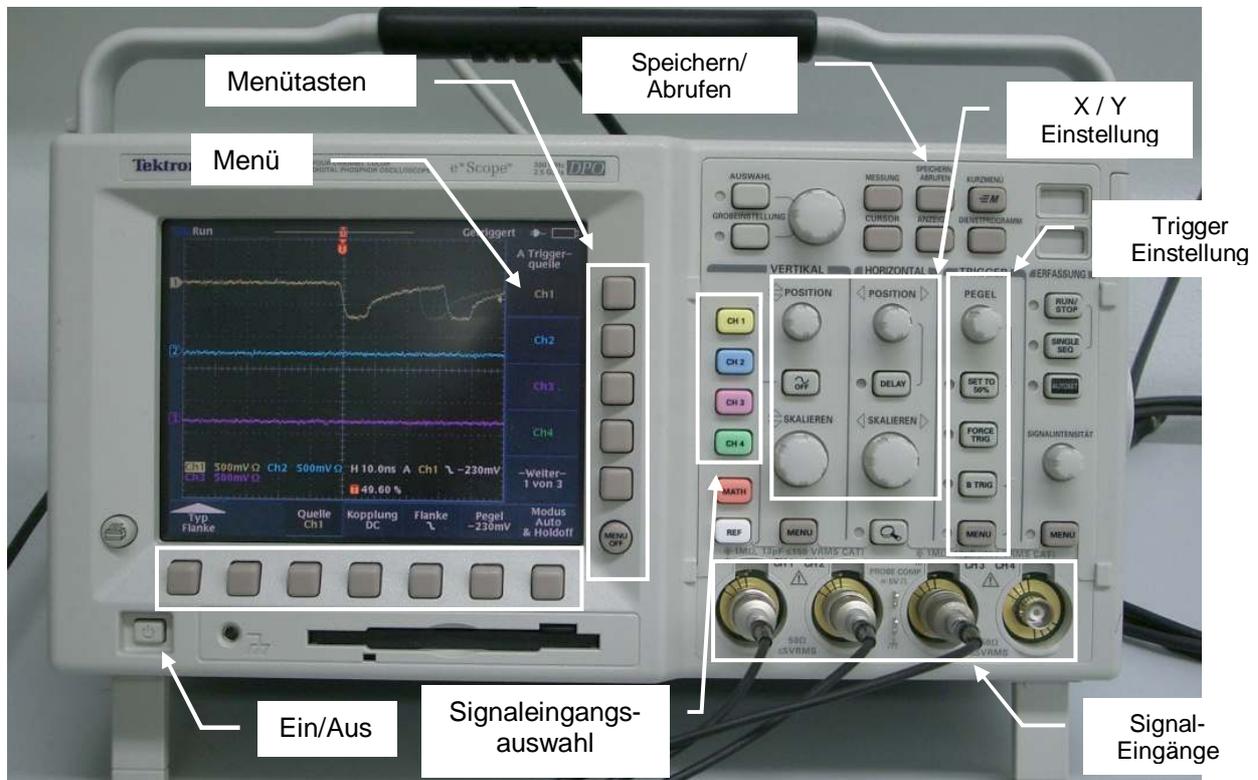
$$(4) A_K = 2 \cdot (A_{\text{Segment}} - A_{\text{Dreieck}}) = \frac{2 \cdot r^2}{2} \cdot (\varepsilon - \sin \varepsilon) = r^2 \cdot (\varepsilon - \sin \varepsilon).$$

Die Berechnung der Koinzidenzfläche A_K als Funktion des Einstellwinkels α aus den Gleichungen (1), (3) und (4) geschieht hier in einfacher Weise mit Hilfe eines EXCEL-Arbeitsblattes:



H.4. Arbeiten mit dem Oszilloskop

Diese Abbildung zeigt noch einmal das im Schülerlabor zur Verfügung stehende Digitaloszilloskop mit den wesentlichen Bedienelementen.



Funktionsweise

Ein Oszilloskop kann man verwenden, um zeitliche Abläufe graphisch darzustellen. In unserem Fall also Spannungen und mit einem kleinen Trick auch Ströme. Am einfachsten kann man sich das anhand eines älteren Oszilloskops mit einer Röhre vorstellen. Das ist also nichts anderes als ein kleiner Fernseher mit einem einzigen Punkt am Bildschirm, den wir auslenken (=bewegen) können. Nun lassen wir diesen Punkt immer wieder von links nach rechts wandern und ändern die Höhe abhängig vom Eingangssignal. Wir legen also an die X-Auslenkung eine Sägezahnfunktion wie im Bild an. Würden wir das Ganze jetzt so ablaufen lassen, hätten wir jedes Mal wenn der Strahl von links nach rechts wandert ein anderes Bild und könnten keine brauchbaren Informationen ablesen. Wir müssen den Sägezahn irgendwie zum Eingangssignal „synchronisieren“. Diese Arbeit erledigt der Trigger für uns. Im Normalzustand bewegen wir den Strahl nicht. Erst wenn der Trigger „sagt“: „Jetzt!“, starten wir einen einzigen Sägezahn. Handelt es sich um ein periodisches Signal und der Trigger löst immer an derselben Stelle in der Funktion aus, haben wir ein „stehendes“ Bild auf dem Oszilloskop.

Das Tektronix-Oszilloskop, welches wir im Labor verwenden, ist ein digitales Speicheroszilloskop. Das heißt, es wandelt die Eingangsspannung in einen digitalen Wert um und füllt damit einen Speicher. Statt einer X-Auslenkung am Schirm muss man sich jetzt die Speicheradresse vorstellen. Am Bildschirm betrachtet man dann den Speicherinhalt.

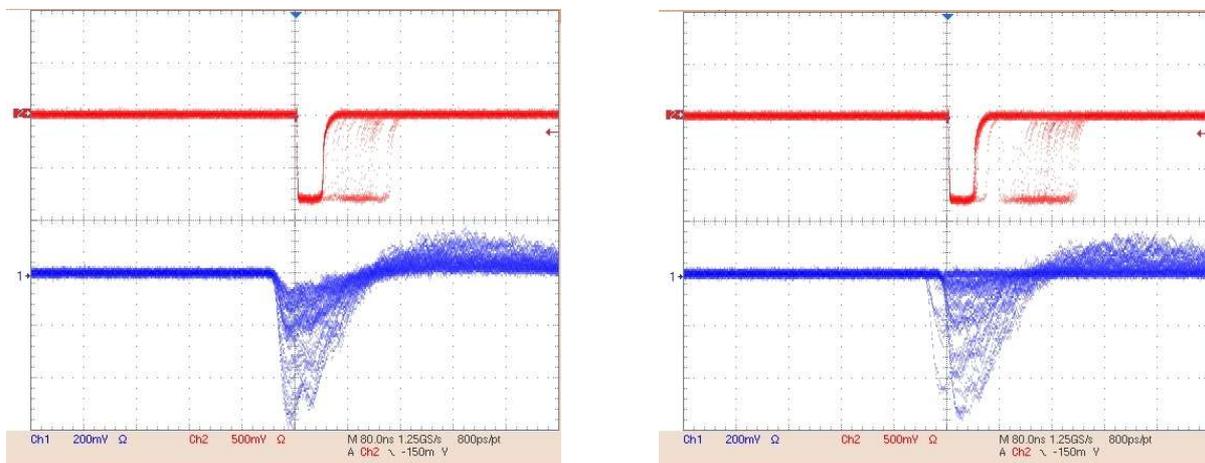
Die wichtigsten Einstellmöglichkeiten:

- Mit den Signaleingangs-Auswahlschaltern können die 4 Oszilloskopeingänge Ch1 bis Ch4 eingeschaltet bzw. zum Ändern der Vertikal- und Horizontal-Skalierungen oder zum Abschalten mit dem „Off“ Taster aktiviert werden.
- Die Triggerquelle kann nach Drücken der Trigger-Menu-Taste mit den Menütasten gewählt werden. Die Triggerschwelle der gewählten Quelle kann mit dem Drehregler „Pegel“ verändert werden.
- Mit der Taste „Speichern/Abrufen“ gelangt man in ein Menü, in dem man die Voreinstellungen des Oszilloskops speichern und abrufen kann.
- Die Regler „Vertikal Skalieren“ bzw. „Horizontal Skalieren“ verändern die auf dem Schirm dargestellte Signalhöhe und Zeitablenkung. Sie sind jeweils nur für den angewählten Signaleingang gültig (Signaleingangswahltaste).
- Insgesamt können 4 unterschiedliche Signale an den 4 Eingängen gleichzeitig dargestellt werden. Dabei kann man auswählen, welcher der 4 Kanäle der Trigger sein soll. Darüber hinaus kann man über das Trigger-Menü auch einstellen, dass jede der Signalquellen triggerberechtigt sein soll.

H.5. Einstellung des Constant-Fraction-Diskriminators (optional)

Die in V.5.1 bis V.5.3 folgenden Einstellung am CFD sind optional. Ihre Durchführung muss vorher mit dem Betreuer des Experiments abgesprochen werden.

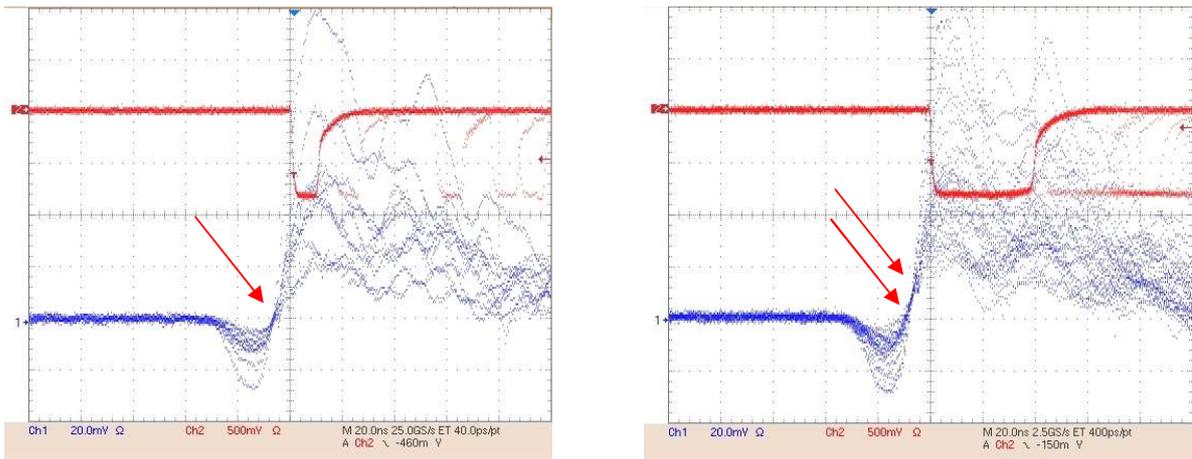
H.5.1 Threshold Adjustment (“T”)



Diese Einstellmöglichkeit dient dazu, unerwünschte niederenergetische Impulse und elektronisches Rauschen durch Setzen einer Schwelle („Threshold“) von der weiteren Verarbeitung auszuschließen. Die beiden Oszilloskopbilder zeigen oben (rot) das rechteckförmige Ausgangssignal des CFD, das zum Triggern benutzt wird. Unten ist (blau) das Eingangssignal am CFD zu sehen, d.h. man erkennt, welche Eingangssignale zu einem Zeitsignal geführt haben. Links erkennt man eine gut eingestellte Schwelle: die Signale liegen deutlich über dem Rauschen in der Nähe der Nulllinie. Rechts sieht man eine schlecht (weil zu niedrig) eingestellte Schwelle, bei der auch das elektronische „Rauschen“ zu einem Zeitsignal führt.

H.5.2 Walk Adjustment (“Z”)

An dem Monitorausgang “M” des CFD kann man das Summensignal „a+b“ oszilloskopieren, das, wie oben erläutert, vom Nulldurchgangsdiskriminator zur Bildung des Zeitsignals verwendet wird. Mit dem Bedienelement „Z“ kann man einstellen, dass alle Summensignale unabhängig von der Eingangsamplitude zur gleichen Zeit ihren Nulldurchgang haben. Im linken Oszilloskopbild (untere, blaue Linie) ist dies gut erfüllt, im rechten dagegen nicht.



H.5.3 Output Width Adjustment (“W”)

Mit dem letzten an der Frontplatte des CFD zugänglichen Bedienelement “W” kann man die Länge des Zeitsignals einstellen. Im vorigen linken Bild beträgt sie etwa 10 ns, im rechten Bild 40 ns (rote, obere Linie). In diesem Experiment sollte die Dauer des Ausgangssignals auf 10 ns eingestellt werden.

N:\SL_Stand_Februar_10\Anleitung_7.doc

Erstelldatum 24.02.2010 09:26:00

Zuletzt gespeichert von Gruppe

Lessing

Zuletzt gespeichert 24.02.2010 09:29