

Inbetriebnahme einer Driftkammer
als Experiment für den
„Advanced Laboratory Course“

Bachelorarbeit in Physik
von Samuel Koch,

angefertigt im Physikalischen Institut,

vorgelegt der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Bonn

Oktober 2011

Inbetriebnahme einer Driftkammer
als Experiment für den
„Advanced Laboratory Course“

Bachelorarbeit in Physik
von Samuel Koch

1. Gutachter: Professor Dr. Hartmut Schmieden
2. Gutachter: Privatdozent Dr. Jörg Pretz

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Funktionsprinzip einer Driftkammer	5
2.1	Aufbau	5
2.2	Funktionsweise	7
3	Aufbau des Versuches	9
3.1	Anordnung der verschiedenen Komponenten	9
3.2	Gassystem	10
3.3	Triggerszintillator	10
3.4	Ausleseelektronik und Signalverarbeitungssoftware	12
4	Messergebnisse	15
4.1	Driftzeitmessung	15
4.2	Messung der Time-over-Threshold	17
5	Zusammenfassung	19

1 Einleitung

Das BGO-OD-Experiment¹, das das Physikalische Institut der Universität Bonn in Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen aus verschiedenen Ländern am Teilchenbeschleuniger ELSA² durchführt, untersucht die Photoproduktion von Mesonen an Nukleonen. Zum Nachweis der Spuren von geladenen Teilchen werden unter Anderem mehrere Driftkammern verwendet, die dazu dienen den Ort der nachzuweisenden Teilchen nach deren Durchgang durch ein Magnetfeld nachzuweisen. Die so bestimmten Trajektorien liefern zusammen mit der Messung der magnetischen Feldstärke vor den Kammern den Impuls der Teilchen.

Um die Eigenschaften der geplanten Kammern vorab untersuchen zu können, wurde am St. Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI) eine Prototyp-Driftkammer mit deutlich kleineren Ausmaßen und geringeren Drahtdurchmessern aber sonst identischen Parametern hergestellt. Die erste Inbetriebnahme der Kammer sowie erste Messungen fanden am Physikalischen Institut in Bonn im Rahmen einer Diplomarbeit statt und sind in [Hamm08] beschrieben.

Da die Prototyp-Kammer die an sie gestellten Erwartungen erfüllt hat, wurden zwischenzeitlich die geplanten großen Driftkammern gebaut, welche

¹ Nähere Informationen zum Aufbau und den Zielen des Experimentes finden sich auf der dazugehörigen Internetseite unter <http://b1.physik.uni-bonn.de/>.

² *Elektronen-Stretcher-Anlage*, mehrstufiger Synchrotron-Beschleuniger (<http://www-elsa.physik.uni-bonn.de/>).

inzwischen eingesetzt werden. Dadurch steht die Prototyp-Kammer für andere Nutzungen zur Verfügung. Sie soll als Grundlage eines Experimentes für das Fortgeschrittenenpraktikum dienen.

In der vorliegenden Arbeit soll es darum gehen, den Aufbau eines Experimentes für das Modul „Advanced Laboratory Course“ der Masterstudiengänge Physik und Astrophysik unter Benutzung einer bereits vorhandenen Driftkammer zu beschreiben.

Ziel dieser Arbeit soll dabei sein, die Vorarbeiten zu leisten, indem der Aufbau soweit fertiggestellt wird, dass die Datenaufnahme möglich wird. Außerdem soll eine erste Datennahme mit dem Aufbau gemacht werden, um charakteristische Größen der Kammer bestimmen zu können.

2 Funktionsprinzip einer Driftkammer

Zu Beginn dieser Arbeit soll zunächst allgemein beschrieben werden, wie mit Hilfe einer Driftkammer ionisierende Strahlung und ihr Durchgangsort nachgewiesen werden kann. Dabei soll die Betrachtung allerdings nicht so allgemein wie möglich erfolgen, sondern sich auf die verwendete Kammer beschränken.

2.1 Aufbau

Abb. 2.1 zeigt eine Photographie der Driftkammer auf der auch die Position, in der der als Trigger verwendete Szintillationsdetektor angebracht ist, zu sehen ist. Dieser wird in Abschnitt 3.3 näher beschrieben.

Das Äußere der Driftkammer besteht aus einem Aluminiumprofilrahmen, der an den Seitenflächen mit aluminisierter biaxial orientierter Polyester-Folie („Mylarfolie“) bespannt ist. Der Zweck dieser Folie ist es, das Kammervolumen gasdicht vom Außenraum abzutrennen und gleichzeitig möglichst wenige Wechselwirkungen der nachzuweisenden Teilchen in der Folie stattfinden zu lassen. Dies wird dadurch erreicht, dass eine sehr dünne Folie verwendet wurde, die trotzdem weitgehend gasundurchlässig ist, was jedoch ein geringes

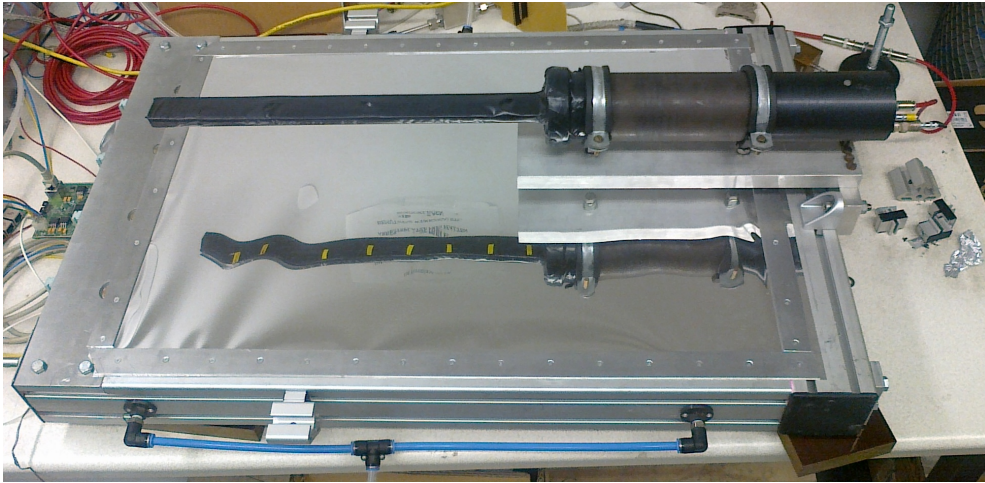


Abbildung 2.1: Bild der Kammer mit darauf montiertem Photomultiplier und Szintillator. Die Drähte verlaufen in dieser Ansicht waagerecht.

Ausmaß an Diffusion von Gasen in die Driftkammer nicht ganz verhindern kann (vgl. Abschnitt 3.2).

Im Inneren der Kammer sind Signal- und Potentialdrähte gespannt zwischen denen einstellbar eine Hochspannung von bis zu 3000 V angelegt ist. Um die bestmöglichen Resultate zu erzielen, wurde dieser Wert auch durchgängig verwendet.

Die Anordnung der verschiedenen Drähte wird in Abb. 2.2 schematisch dargestellt.

Die Signal- oder Anodendrähte, das sind die Drähte zu denen die entstehenden negativen Ladungen hindriften, sind als vergoldete Wolframdrähte mit einem Durchmesser von $30\ \mu\text{m}$ ausgeführt. Sie sind im Abstand von 17 mm in hexagonaler Form von sechs Potentialdrähten umgeben.

Diese Anordnung ist in zwei Ebenen ausgeführt, wobei die Potentialdrähte zwischen den beiden Schichten jeweils einen Begrenzungspunkt von drei sechseckigen Driftzellen darstellen.

Da die Signaldrähte auf Massepotential gelegt sind, damit an der Ausleselektronik keine Hochspannung anliegt, wird an die Potentialdrähte eine

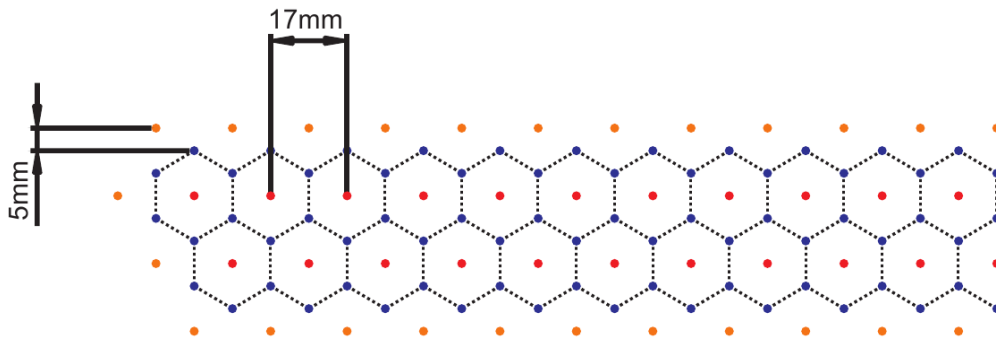


Abbildung 2.2: Skizze zum Aufbau einer Driftkammer. Aus [Maka]. Dargestellt ist die Querschnittsfläche senkrecht zu den Drähten. Die Teilchenbahnen verlaufen in dieser Zeichnung vertikal. Die roten Punkte stellen die Signal-, die blauen die Potentialdrähte und die orangefarbenen die feldformenden Drähte dar. Die idealen Äquipotentiallinien minimalen Potentials sind gepunktet eingezeichnet. Sie stellen die Begrenzungen der einzelnen Driftzellen dar.

negative Hochspannung angelegt.

Die äußeren Potentialdrähte sind außen von feldformenden Drähten umgeben, die die Aufgabe haben, zu verhindern, dass das elektrische Feld am Rand des genutzten Bereiches der Kammer eine andere Form hat als in der Mitte.

2.2 Funktionsweise

Durch das wie in Abschnitt 2.1 beschrieben erzeugte elektrische Feld werden Elektronen und positive Ionenrumpfe, welche aufgrund des Durchganges eines geladenen Teilchens entstanden sind, räumlich getrennt und driften gemäß ihrer Ladung innerhalb einer Driftzelle zu den entsprechenden Drähten hin.

Durch den geringen Drahtdurchmesser wird die elektrische Feldstärke in der Nähe der Drähte so groß, dass in diesen Bereichen Elektronenlawinen entstehen. Dadurch wird erreicht, dass nicht nur die durch die Strahlung direkt erzeugte Ladung, welche aufgrund ihres geringen Betrages nicht messbar wäre, sondern eine deutlich größere Elektronenzahl den entsprechenden Draht erreicht. Diese ist groß genug, um elektronisch nachgewiesen werden zu können.

Da ein externes Triggersignal zur Verfügung steht (vgl. Abschnitt 3.3), ist der Zeitpunkt, an dem das Teilchen die Kammer passiert hat, bekannt. Bis die driftenden Teilchen einen Signaldraht erreicht haben, benötigen sie jedoch eine gewisse Zeit, welche vom Abstand des Ortes des Teilchendurchgangs zum nächsten Signaldraht abhängig ist.

Aus der Zeitdifferenz zwischen Triggersignal und Kammersignal kann eine Information über den Durchgangsort gewonnen werden. Wenn dieser Zusammenhang, die sogenannte Orts-Driftzeit-Beziehung, bekannt ist, kann damit der Abstand des Ereignisses („Event“) vom Draht bestimmt werden.

Um zusätzlich die Information zu bekommen, auf welcher Seite vom Draht das Event stattgefunden hat, sind die beiden Lagen Signaldrähte um den halben Abstand benachbarter Signaldrähte einer Lage zueinander versetzt angebracht. Die Kombination beider Ortsrekonstruktionen ergibt damit auch den genauen Ort des Ereignisses.

Der Nachweis der Ladung, die einen Signaldraht erreicht hat, geschieht durch spezielle Elektronik, ein sogenanntes Cros3-System. Auf dieses wird in Abschnitt 3.4 näher eingegangen.

Gemessen wird dabei nicht der Betrag der Ladung, sondern lediglich, ob sie einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.

Für Messungen sind nicht alle Messwerte von Interesse, sondern nur solche, die während eines Teilchendurchgangs gemessen werden, da alle anderen lediglich Rauschen enthalten können. Um diese auswählen zu können, steht ein Triggersignal zur Verfügung.

3 Aufbau des Versuches

In diesem Kapitel soll beschrieben werden, aus welchen Komponenten das gesamte Experiment aufgebaut wurde und wie diese zusammenspielen.

3.1 Anordnung der verschiedenen Komponenten

Um die eigentliche Driftkammer, die das Herzstück des Aufbaus darstellt, sind ein langer schmaler Szintillator samt Photomultiplier-Tube (PMT) sowie die Elektronik, die zum Triggern und Auslesen der Kammersignale verwendet werden, angebracht. Dadurch werden nur die Ereignisse herausgefiltert, die von solchen Teilchen hervorgerufen wurden, die sowohl in der Driftkammer als auch im Szintillator ein Signal hervorgerufen haben. Damit ist der Weg der Teilchen und der Winkel, unter dem sie die Driftkammer durchflogen haben, bekannt. Dieser Winkel kann nun zusammen mit der Annahme, dass die Kammer homogen auf einfallende ionisierende Strahlung reagiert, benutzt werden, um die Abhängigkeit des Ausgangssignales der Kammer von dem Winkel, unter dem das registrierte Teilchen die Kammer passiert hat, zu untersuchen.

3.2 Gassystem

Als Gasfüllung für die Driftkammer wird ein Argon-Kohlenstoffdioxid-Gemisch (Ar/CO_2) im Massenverhältnis von 70:30 (momentan wird vorübergehend ein Mischungsverhältnis von 80:20 benutzt, womit das System immer noch hinreichend gut funktioniert) verwendet.

Das Argon stellt die Komponente dar, welche ionisiert wird, während das CO_2 dazu dient, die durch den Durchgang der geladenen Teilchen entstehenden Elektronenlawinen zu löschen, damit die Gasentladung beendet und der Detektor wieder sensitiv für neue Ereignisse wird. Anderenfalls würde der Strom in der Driftkammer immer weiter ansteigen und somit wäre kein Signal nutzbar.

Das Gas wird aus einer entsprechenden Druckflasche fertig vorgemischt verwendet und lediglich durch einen Druckminderer und einen Filter geleitet, bevor ein digital über die serielle Schnittstelle angesteuerter Massedurchflussregler einen gewählten Gasstrom einstellt und dauerhaft überwacht. Der permanente Gasdurchfluss durch das Kammervolumen ist nötig, damit sichergestellt werden kann, dass sich immer das vorgesehene Gasgemisch in der Kammer befindet und sich dieses weder durch Diffusion von anderen Gasen in die Kammer noch durch Feuchtigkeit oder chemische Veränderung, welche durch Ionisierung und Gasentladung auftreten kann, ändert.

Da an die Austrittsöffnung für das Gas, welche sich gegenüber der Eintrittsöffnung befindet, nur ein offener Schlauch angeschlossen ist, herrscht im Inneren der Kammer nur ein minimaler Überdruck.

3.3 Triggerszintillator

Um die Driftkammer nur dann auszulesen, wenn sie auch ein echtes Signal liefert, wird ein externes Triggersignal benötigt, welches von einem über

der Kammer angebrachten Szintillationskristall geliefert wird (siehe auch Abb. 2.1).

Der eigentliche Szintillator ist 32 mm breit und reicht parallel zu den Drähten über den größten Teil der Driftkammer. Der Abstand zu den Drähten der Kammer beträgt dabei etwa 19,5 cm. Die gesamte Länge des Kristalles beträgt 41,5 cm, wovon wegen einer Aluminiumabschirmung für Strahlung aus radioaktiven Quellen nur 38,5 cm genutzt werden können.

Der Szintillator hat eine Stärke von 13 mm, wodurch sichergestellt wird, dass bei der Nutzung von Quellen jedes Teilchen nachgewiesen werden kann, da die so zur Verfügung stehende Strahlung den Kristall nicht vollständig durchdringen kann. Für den Einsatz zur Messung von Höhenstrahlung ist die Ansprechwahrscheinlichkeit des Szintillators ebenfalls ausreichend.

Der Szintillator ist so an einer PMT angebracht, dass das aus dem Szintillator austretende Licht auf eine Scheibe fällt. Dadurch werden aus diesem Eintrittsfenster Elektronen herausgelöst, die durch einen Sekundärelektronenvervielfacher eine Elektronenlawine messbarer Stärke auslösen.

Das Ansprechen des Szintillators definiert, was ein Event darstellt und was nicht. Dabei muss allerdings darauf geachtet werden, dass es bei Verwendung von Höhenstrahlung auch einige Teilchen gibt, die nur den Szintillator, nicht aber die Driftkammer passieren und somit fälschlicherweise ein Event anzeigen. Diese fälschlich angezeigten Events sind jedoch, verglichen mit den wahren, die auch in der Driftkammer ein Signal erzeugen, sehr selten und stellen daher kein weiteres Problem dar, sondern führen lediglich zu einem geringen Anstieg der Anzahl der Ereignisse, bei denen kein Signal in der Kammer gemessen werden kann.

Da kein Detektor eine Nachweiswahrscheinlichkeit von 100 % haben kann, kann auf einen Teil der Ereignisse nicht getriggert werden. Diese können somit nicht ausgewertet werden. Dies betrifft allerdings nur verhältnismäßig wenige Events, sodass dadurch die Funktionalität des Gesamtsystems nicht beeinträchtigt wird.

3.4 Ausleseelektronik und Signalverarbeitungssoftware

Die Signale aus dem Sekundärelektronenvervielfacher werden zunächst verstärkt, von einem *Frontend-Diskriminator* (*FrED*-Board) digitalisiert und schließlich als differentielle Signale nach dem LVDS³-Standard mittels eines gewöhnlichen Patchkabels durch ein auf einer PCI-Karte⁴ in einen Computer eingebautes Field Programmable Gate Array (FPGA) ausgelesen, welches entsprechend programmiert ist. Das FPGA verwendet diese Signale als Trigger für die Driftkammer, d. h., nur dann, wenn das Signal der FrED-Boards am FPGA anliegt, wird das Driftkammersignal als Ereignis betrachtet und ausgewertet. Anderenfalls hat entweder kein Ereignis stattgefunden und die Driftkammer liefert nur den uninteressanten Rauschhintergrund oder ein einfallendes Teilchen hat den Szintillator nicht erreicht und auf dieses Ereignis kann nicht getriggert werden.

Die Elektronik, die benötigt wird, um die schwachen Signale der Driftkammer nachzuweisen und auszuwerten, wurde vom PNPI unter dem Namen „Cros3“ hergestellt. Die erste Elektronikstufe dieses Cros3-Systems besteht aus drei AD16-Karten, die zur Rauschminimierung direkt an der Driftkammer angebracht sind. Diese nehmen die Signale von jeweils einem Drittel der Signaldrähte auf und verstärken jene zunächst kanalweise durch eine rauscharme analoge Schaltung.

Daran schließt sich, ebenfalls für jeden Kanal einzeln, je ein Diskriminator an, der ein Time-over-Threshold-Signal liefert, d. h. ein Signal, dessen Höhe

³ *Low Voltage Differential Signaling*, ein Standard zur differentiellen Übertragung hochfrequenter Signale mit einem Spannungshub von 350 mV bei einer konstanten Stromstärke von 3,5 mA.

⁴ *Peripheral Component Interconnect*, Schnittstellenstandard zum Anschluss verschiedener interner Geräte an Computer.

immer gleich ist und dessen Länge der Dauer entspricht, die das analoge Eingangssignal oberhalb der eingestellten Schwelle war.

Die nun digitalen Ausgangssignale aus den AD16-Karten werden differentiell über Patchkabel zu einer CCB16-Concentrator-Karte geleitet. Diese Karte bündelt die Signale der verschiedenen AD16-Karten und leitet sie über einen Lichtwellenleiter an eine CSB-Karte, eine PCI-Karte im PC. Diese PCI-Karte erhält auch das Triggersignal von der oben erwähnten FPGA-Karte, welches über den Concentrator zurück zu der AD16-Karte geleitet wird, sodass bereits dort die Auswahl der Events stattfinden kann. Die Auswahl geschieht direkt in der ersten Stufe des Systems, da so die zu übertragenden Datenmengen reduziert werden können.

Auf dem gesamten Signalverarbeitungsweg beträgt die erreichbare Zeitauflösung 2,5 ns und kann neben anderen Parametern über das FPGA eingestellt werden.

Die einzelnen Ereignisse werden schließlich über den PCI-Bus an den PC übertragen. Auf dem PC werden sie mit Hilfe einer Software, die auch für das BGO-OD-Experiment benutzt wird, ausgewertet und im ROOT-Dateiformat⁵ gespeichert, was eine einfache Darstellung der Messergebnisse mittels des Programmes ROOT⁶ möglich macht.

Für die Steuerung der Ausleseelektronik wurde auf demselben Rechner ein Webserver installiert, der eine Benutzerschnittstelle bietet, die über einen Webbrowser das Einstellen von Parametern und das Auslesen von Messgrößen erlaubt, bei Bedarf auch über eine Netzwerkverbindung von beliebigen Rechnern aus. Die Parameter, über die das Cros3-System konfiguriert wird, und die Messwerte werden dabei in eine ebenfalls auf dem PC installierte

⁵ sog. *ROOT-Tree*, ein in der Teilchenphysik gebräuchliches Dateiformat zur Speicherung ereignisbasierter Messdaten.

⁶ *ROOT* (<http://root.cern.ch/>) ist ein Programm, das am CERN entwickelt und unter der GNU Lesser General Public License, einer für Freie Software verwendeten Lizenz, zur Verfügung gestellt wird.

Datenbank gespeichert.

Hierfür konnte ebenfalls weitestgehend Software benutzt werden, die für das BGO-OD-Experiment geschrieben worden ist.

4 Messergebnisse

Zum Schluss dieser Arbeit sollen in Kürze noch Resultate erster Messungen angerissen werden. Hierbei sind keine unerwarteten Ergebnisse aufgetreten, das Gesamtsystem lieferte weitgehend die erwarteten Messergebnisse.

4.1 Driftzeitmessung

In Abb. 4.1 wird in Form eines Histogrammes dargestellt, welche gemessenen Driftzeiten mit welchen Häufigkeiten auftreten.

Da die Signalverarbeitungszeiten der Elektronik, die die Driftkammersignale verarbeitet, und die Zeit, die die Signale in der PMT brauchen, nicht bekannt sind, können zunächst keine absoluten Driftzeiten abgegeben werden, sondern nur Driftzeitdifferenzen. Dies ist jedoch ausreichend, da eine maximale Zählrate bei einem Abstand zum Draht von null erwartet wird. Damit kann der Zeitoffset eliminiert werden. Das geschieht zum größten Teil schon in der Cros3-Elektronik, in der der entsprechende Offset eingestellt wurde. Die Einstellung ist schon allein deshalb nötig, weil der Zeitbereich, in dem die Daten gespeichert werden können, begrenzt ist und bei schlecht gewähltem Offset ein Teil oder sogar alle Daten, d. h. Events, verloren gehen können. Damit das Ansteigen der Messkurve noch sichtbar bleibt und sichergestellt wird, dass keine Ereignisse verlorengehen, wurde bewusst ein etwas

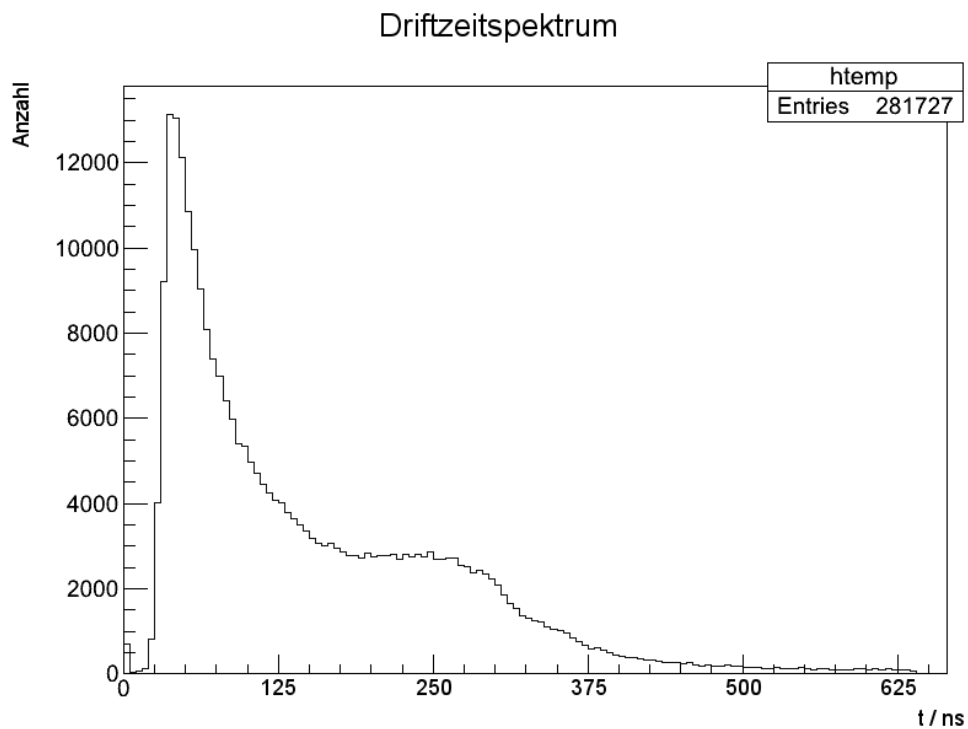


Abbildung 4.1: Histogramm der Häufigkeiten der Ereignisse bei verschiedenen Driftzeiten. Dargestellt ist jeweils der Beginn des Signals. Die Daten wurden mithilfe von β -Strahlung aus einer Strontiumquelle (^{90}Sr , 546 keV max. Zerfallsenergie) aufgenommen.

zu geringer Wert gewählt. Dies ist möglich, weil der verfügbare Zeitbereich, auch bei der gewählten besten Zeitauflösung, groß genug ist.

Der Verlauf der Messkurve entspricht weitgehend den Erwartungen, mit der Einschränkung, dass bei großen Zeiten ein zweiter Peak erwartet wird. An der entsprechenden Stelle ist stattdessen ein längeres Plateau zu erkennen. Dieses liegt in der nicht optimale Gaszusammensetzung begründet (s. Abschnitt 3.2).

4.2 Messung der Time-over-Threshold

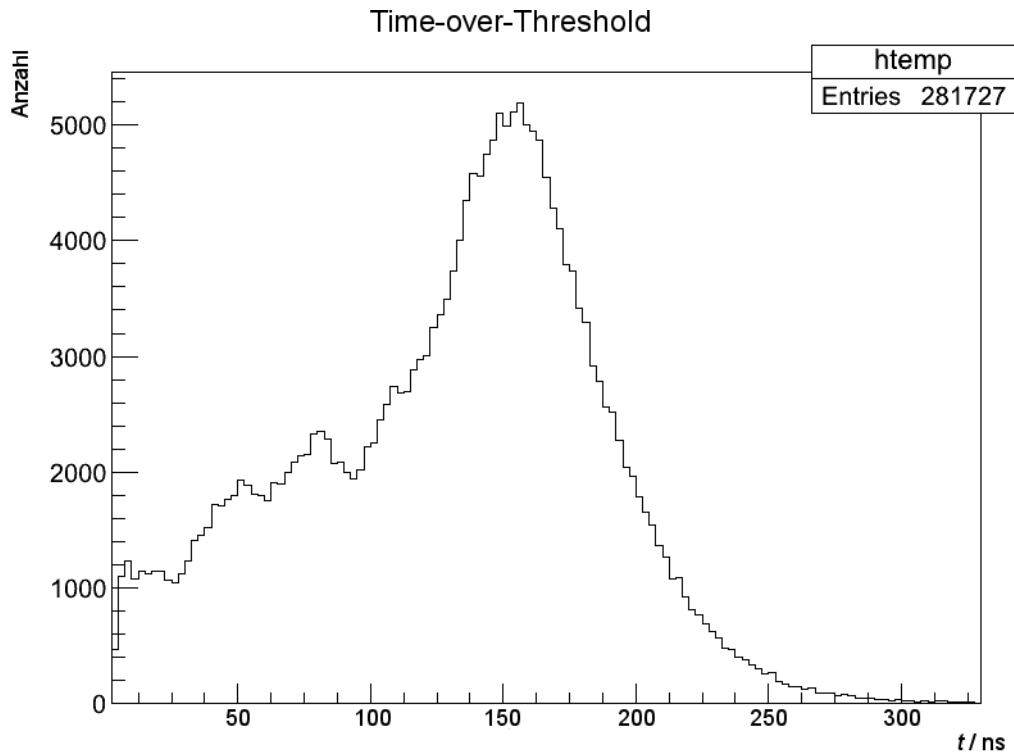


Abbildung 4.2: Histogramm der Häufigkeiten der Ereignisse bei verschiedenen Signallängen (Time-over-Threshold). Die Daten wurden mithilfe von β -Strahlung aus einer Strontiumquelle aufgenommen. Für Messwerte, bei denen das Ende der Time-over-Threshold außerhalb des nachweisbaren Bereiches lag, konnte kein Wert ermittelt werden. Diese sind daher in der Darstellung nicht enthalten.

Eine weitere interessante Größe ist sicherlich die Stärke des gemessenen Signales. Diese korrespondiert mit dem Time-over-Threshold-Signal des Diskriminators der AD16-Karte. Dieses wird jedoch nicht direkt ausgegeben, sondern nur der Beginn und das Ende der Zeit, die das analoge Signal ober-

halb der gewählten Schwelle liegt. Daraus lässt sich jedoch ohne Weiteres die ursprüngliche Time-over-Threshold rekonstruieren.

Abb. 4.2 zeigt die Anzahlen einzelner gemessener Werte für die Time-over-Threshold. Dabei ist, wie zu erwarten war, ein deutlicher Peak bei mittleren Zeitdifferenzen zu erkennen. Während der Abfall zu großen Zeiten monoton abfällt, verläuft der Anstieg ungleichmäßiger. Der Grund hierfür konnte jedoch leider nicht ermittelt werden. Es handelt sich dabei nicht um bloße statistische Abweichungen, da das gleiche Verhalten qualitativ auch in anderen Messungen gleicher Art auftrat.

5 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasste sich mit dem Aufbau und der Inbetriebnahme einer Driftkammer, welche zum Ziel haben, diese für die Ausarbeitung eines Versuches für das Fortgeschrittenenpraktikum vorzubereiten.

Ein Schwerpunkt der Arbeit lag auf der Darstellung der Funktionsweise von Driftkammern. Diese dienen zum Nachweis ionisierender Strahlung durch Ladungstrennung und Gasverstärkung. Des Weiteren lag das Augenmerk auf der Beschreibung der einzelnen Komponenten des Experimentes, einschließlich der zugehörigen Elektronik, welche einen wichtigen Aspekt des Gesamtsystems darstellt.

Zum Ende wurden noch Ergebnisse erster Datennahmen angerissen.

Während der Durchführung sind, wie zu erwarten war, auch mehrere unvorhergesehene Probleme aufgetreten. Insbesondere haben sich bei der Inbetriebnahme des Cros3-Systems Schwierigkeiten ergeben, die jedoch schließlich gelöst werden konnten.

Literaturverzeichnis

[Hamm08] Daniel Hammann: *Test und Inbetriebnahme der Prototyp-Driftkammer für das B1-Spektrometer*, Diplomarbeit, Physikalisches Institut der Universität Bonn, Bonn, 2008

[Maka] Makarenkov et al.: *Technische Zeichnungen*, St. Petersburg Nuclear Physics Institute, St. Petersburg, o. J.

Ich versichere, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie die Zitate kenntlich gemacht habe.

Bonn, den

Unterschrift