
Effizienzmessung von Vieldraht-Driftkammern für unterschiedliche Gasmischungen am QCLAM-Spektrometer

Efficiency measurement at the multi-wire driftchambers for different gas mixtures at the QCLAM-spectrometer

Master-Thesis von Antonio D'Alessio aus Darmstadt

Tag der Einreichung:

1. Gutachten: Prof. Dr. Peter von Neumann-Cosel
2. Gutachten: Maxim Singer, MSc.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Fachbereich Physik
Institut für Kernphysik

Effizienzmessung von Vieldraht-Driftkammern für unterschiedliche Gasmischungen am QCLAM-Spektrometer

Efficiency measurement at the multi-wire driftchambers for different gas mixtures at the QCLAM-spectrometer

Vorgelegte Master-Thesis von Antonio D'Alessio aus Darmstadt

1. Gutachten: Prof. Dr. Peter von Neumann-Cosel
2. Gutachten: Maxim Singer, MSc.

Tag der Einreichung:

Erklärung zur Master-Thesis

Hiermit versichere ich, die vorliegende Master-Thesis ohne Hilfe Dritter nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Darmstadt, den 28. September 2016

(Antonio D'Alessio)

Zusammenfassung

Im Rahmen der Umbauarbeiten am S-DALINAC wird das QCLAM-Spektrometer erneuert und wieder in einen funktionsfähigen Zustand versetzt. Insbesondere wird die Ausleseelektronik des Detektorsystems und das Detektorsystem an sich überarbeitet. Zur Instandsetzung des Detektorsystems gehört eine Charakterisierung der Vieldraht-Driftkammern, sowie Tests der Effizienzen. In dieser Arbeit wird ein besonderes Augenmerk darauf gelegt, ob es einen Vorteil bietet die Vieldraht-Driftkammern mit einem Argon-Kohlenstoffdioxid- anstatt mit dem herkömmlichen Argon-Isobutan-Gasgemisch zu betreiben. Hier spielen die Effizienzen sowie die Driftzeiten innerhalb der Kammer bei verschiedenen Gemischen eine entscheidende Rolle. Im Rahmen dieser Arbeit wurde herausgefunden, dass die Effizienzen der Kammern mit Argon und Isobutan bei geringen Spannungen um 4,9 kV schon Werte bis 98 % annehmen. Die Tests mit CO₂ haben gezeigt, dass Effizienzen von über 98 % erreicht werden können, wenn die Driftkammern mit Gemischen aus Argon und CO₂ im Verhältnis 80:20 oder niedrigerem CO₂ Anteil betrieben werden.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
2. Grundlagen	7
2.1. Aufbau des QCLAM-Spektrometers	7
2.2. Physikalische Grundlagen von Vieldraht-Driftkammern	8
2.3. Detektorsystem des QCLAM-Spektrometers	10
2.4. Zusammenhang von Driftzeit und Driftweg	11
3. Experiment	14
3.1. Elektronik	14
3.2. Gasflusssystem	15
4. Messung	17
4.1. Bestimmung der Ansprechwahrscheinlichkeit	17
4.2. Zeitauflösung der Messelektronik	21
4.3. Zeitauflösung der Driftzeitmessung	23
4.4. Driftzeitverteilung der Elektronen	23
4.5. Gasgemische	28
4.5.1. Argon-Isobutan-Gemisch	28
4.5.2. Argon-CO ₂ -Gemisch	30
4.6. Probleme beim Messaufbau	31
5. Zusammenfassung und Ausblick	36
Literaturverzeichnis	36
A. Ansprechwahrscheinlichkeiten für CO₂	41
B. Python-Code zur Auswertung der Ansprechwahrscheinlichkeit	43

Abbildungsverzeichnis

1.1. Schematische Zeichnung des S-DALINAC	5
2.1. Aufbau des QCLAM-Spektrometers	7
2.2. Aufbau einer Vieldraht-Driftkammer	8
2.3. Feldverlauf in einer Driftkammer	9
2.4. Detektorsystem des QCLAM-Spektrometers	11
2.5. Korrektur der Driftzeit in einem inhomogenen Feld	12
3.1. Aufbau der Messelektronik	14
3.2. Aufbau des Gasregelungssystems	15
4.1. Idee der Berechnung der Ansprechwahrscheinlichkeiten	18
4.2. Wahl der Ereignisse zur Berechnung der Ansprechwahrscheinlichkeiten	18
4.3. Test der Berechnung der Ansprechwahrscheinlichkeiten	19
4.4. Messungen der Ansprechwahrscheinlichkeiten an im QCLAM-Spektrometer ein- gebauter Driftkammer	20
4.5. Spannung-Strom-Beziehung mit Argon-Isobutan-Gemisch	20
4.6. Aufbau der Messung zur Zeitauflösung	22
4.7. Zeitauflösung der Elektronik	22
4.8. Zeitauflösung des gesamten Messaufbaus	23
4.9. Kollimator zur Reduktion der Winkelungenauigkeit bei Driftzeitmessung	24
4.10. Aufbau der Driftzeitmessung	24
4.11. Winkelabhängige Driftzeitspektren	25
4.12. Driftzeit-Spektren	26
4.13. Winkelabhängige Driftzeit-Weg-Abhängigkeit	27
4.14. Untergrundmessung mit Argon-Isobutan-Gemisch	28
4.15. Ansprechwahrscheinlichkeit mit Argon-Isobutan-Gemisch	29
4.16. Driftzeit-Weg-Verhältnis mit Argon-Isobutan-Gemisch	29
4.17. Untergrund mit Ar-CO ₂ -Gemisch	30
4.18. Ansprechwahrscheinlichkeiten bei verschiedenen CO ₂ -Anteilen	31
4.19. Ungestörtes Signal der Kammer	32
4.20. Signale mit Notfall LEDs und Notausgangsschild	32
4.21. Signale mit Notausgangsschild und ohne Notfall LEDs	33
4.22. Signale ohne Notausgangsschild und Notfall LEDs	34
4.23. Signale nur mit Oszilloskop	34
A.1. Ansprechwahrscheinlichkeit bei 60 % CO ₂	41
A.2. Ansprechwahrscheinlichkeit bei 40 % CO ₂	41
A.3. Ansprechwahrscheinlichkeit bei 20 % CO ₂	42
A.4. Ansprechwahrscheinlichkeit bei 10 % CO ₂	42

1 Einleitung

Seit 1991 ist der supraleitende, rezirkulierende Elektronen-Linearbeschleuniger S-DALINAC (Superconducting-DARmstadt-LINear-ACcelerator) [1] in Betrieb. Um ihn hat das Institut für Kernphysik der TU Darmstadt seine Forschungen in den Bereichen nukleare Astrophysik und Kernstrukturphysik konzipiert. Seitdem wird er kontinuierlich im Rahmen verschiedener Abschlussarbeiten weiterentwickelt. Momentan befindet er sich in einer Umbauphase und wird zu einem dreifachrezirkulierendem Energy-Recovery-Linac umgerüstet [2]. Abbildung 1.1 zeigt schematisch den im Umbau befindlichen Beschleuniger im Dezember 2015 und die verschiedenen Experimentierplätze.

Die Elektronen werden in einer thermionischen Elektronenquelle auf 250 keV vorbeschleunigt. Eine weitere Möglichkeit der Elektronengenerierung bietet die 2012 entwickelte spinpolarisierte Elektronenquelle [3]. Die Chopper-Prebuncher-Struktur prägt dem Strahl eine 3 GHz Zeitstruktur auf. Nach dem Injektorbeschleuniger sind Energien von 10 MeV möglich. Die so beschleunigten Elektronen können am ersten Messplatz bei einem Strahlstrom von $60 \mu\text{A}$ für Bremsstrahlungsexperimente am Messplatz DHIPS [4] genutzt werden.

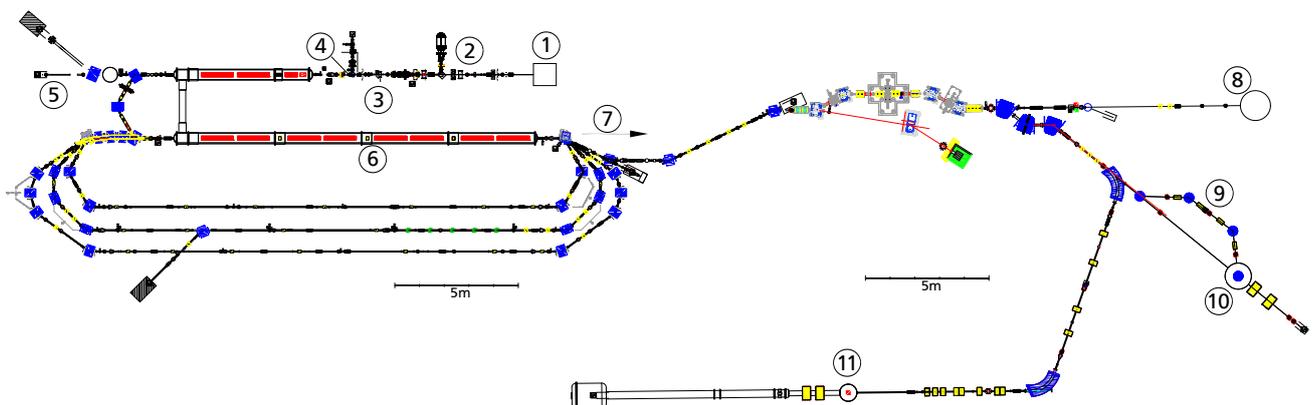


Abbildung 1.1.: ① thermionische Quelle, ② spinpolarisierte Elektronenquelle, ③ Chopper, ④ Prebuncher, ⑤ Bremsstrahlungs-Experimentierplatz, ⑥ 30 MeV LINAC, ⑦ Extraktion zur Experimentierhalle, ⑧ NEPTUN-Experimentierplatz, ⑨ 180°-Schikane, ⑩ QCLAM-Spektrometer, ⑪ LINTOTT-Spektrometer (modifiziert nach [5]).

Alternativ ist eine 180°-Umlenkvorrichtung aus Dipolmagneten hinter dem Injektor aufgebaut, mit der der Strahl in den Hauptbeschleuniger geführt werden kann. Dieser bietet über die Verwendung zwanzigzelliger Hohlraumresonatoren die Möglichkeit die Energie des Strahls um 30 MeV zu erhöhen. Der so beschleunigte Strahl kann nun entweder in die Experimentierhalle extrahiert oder noch bis zu dreimal durch die Beschleunigungseinheit geleitet werden. Nutzt man alle Rezirkulationen, so ergibt sich aus den Auslegungsparametern eine maximale Elektronenenergie von 130 MeV bei einem Strahlstrom von $20 \mu\text{A}$.

In der Experimentierhalle befinden sich mehrere Experimentierplätze, wie der NEPTUN-Aufbau. Weiterhin die beiden Elektronenspektrometer LINTOTT [6] und QCLAM [7]. Am LINTOTT-Spektrometer werden (e,e')-Experimente im Energieverlustmodus durchgeführt. Diese Arbeit setzt sich mit dem Detektorsystem des QCLAM-Spektrometers auseinander, weshalb der genaue Aufbau des LINTOTT-Spektrometers nicht weiter erläutert wird.

Das QCLAM(Quadrupol CLAMshell)-Spektrometer ist für (e,e')- und (e,e'x)-Experimente ent-

Tabelle 1.1.: Die wichtigsten Parameter der Spektrometer.

	LINTOTT [6]	QCLAM [8]
Impulsakzeptanz	$\frac{\Delta p}{p} = \pm 2\%$	$\frac{\Delta p}{p} = \pm 10\%$
Raumwinkelakzeptanz	$\Omega \approx 6 \text{ msr}$	$\Omega \approx 35 \text{ msr}$
Impulsbereich für Nachweis	20 bis 120 MeV c ⁻¹	20 bis 130 MeV c ⁻¹
Energieauflösung	$\leq 3 \cdot 10^{-4}$	$\leq 3 \cdot 10^{-4}$
Streuwinkelbereich	33 bis 165° (12° Schritte)	25 bis 155° frei drehbar

wickelt worden. An ihm bietet sich weiterhin die Möglichkeit Streuexperimente unter 180° durchzuführen [9]. Dies ist insbesondere für die Messung von transversalen Moden interessant. Auch im Zusammenhang mit dem Sonderforschungsbereich-1245 werden wieder Messungen am QCLAM-Spektrometer durchgeführt, beispielsweise im Projekt B02 „Testing and simulating electroweak interactions in nuclei“ [10]. Als Detektorsystem dient eine Einheit aus drei Vieldraht-Driftkammern, die bis jetzt mit einem Argon-Isobutan-Gemisch betrieben wurden. In Zukunft soll auf ein Argon-CO₂-Gemisch umgestellt werden. Dies bietet mehrere Vorteile:

- Im Gegensatz zu Isobutan kann CO₂ auch mit mobilen Gassensoren erfasst werden und ist kein brennbares Gas, was den sicheren Umgang bei Arbeiten mit den Driftkammern verbessert.
- Beim Gebrauch von organischen Polymeren besteht die Gefahr der Polymerisation, wodurch die Kammer auf lange Sicht hin geschädigt und in ihrer Betriebsfähigkeit eingeschränkt werden kann [11].
- Durch den Einsatz von CO₂ wird die Effizienz der Kammer erhöht werden. Durch Verunreinigungen im Gasgemisch kann diese gesenkt werden, weiterhin ist CO₂ in Hochdruckflaschen in einer höheren Reinheit (99,998 %) als Isobutan (99,95 %) erhältlich [12] [13].
- Der preisliche Unterschied zwischen CO₂ und Isobutan in den genannten Reinheiten liegt bei 11,5€ /kg : 36,1€ /kg, wodurch die Verwendung von CO₂ Kosten spart [14].

Die folgende Master-Thesis stützt sich auf mein im Februar 2016 verfasstes Proposal [15], übernimmt deshalb große Teile desselbigen und gliedert sich in drei Teile. Zunächst wird in Abschnitt 2 eine Einführung in den Aufbau des QCLAM-Spektrometers gegeben, sowie die maßgeblichen Ideen von Vieldraht-Driftkammern erläutert. Abschnitt 3 enthält eine kurze Erklärung der Elektronik, sowie des Gasflusssystems der Vieldraht-Driftkammern am QCLAM-Spektrometer. Danach werden die ersten Messungen vorgestellt, sowie die Verfahren zur Auswertung der Ansprechwahrscheinlichkeiten der Drähte und der Driftzeiten diskutiert.

2 Grundlagen

2.1 Aufbau des QCLAM-Spektrometers

In Elektronenstreuexperimenten werden Elektronen mit einer vorgegebenen Energie aus dem Beschleuniger auf ein Target geschossen. Die an diesem Target gestreuten Elektronen werden teilweise in das Spektrometer (siehe Abb. 2.1) gestreut und durch einen Dipolmagneten umgelenkt. Die nicht gestreuten Elektronen werden in einen beam-dump zur Strommessung geleitet.

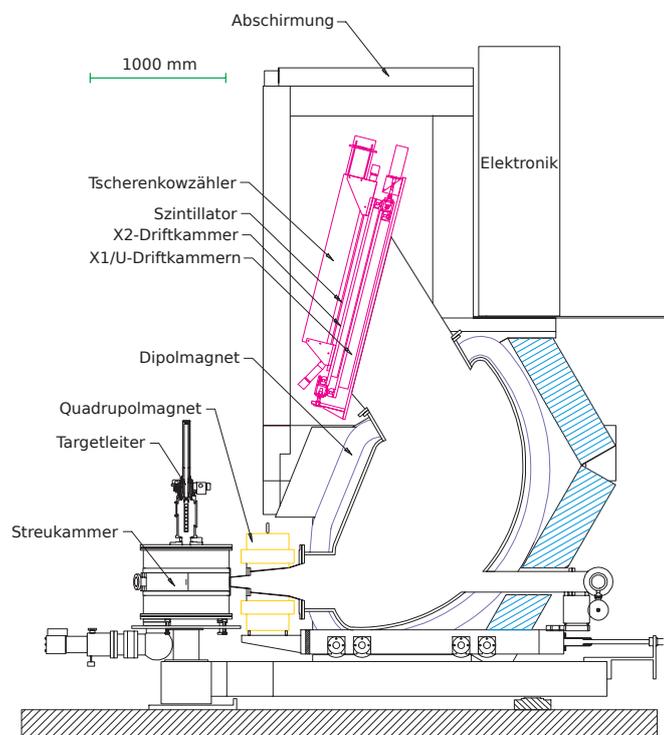


Abbildung 2.1.: Zu sehen ist eine Darstellung des QCLAM-Spektrometers am S-DALINAC. Die Elektronen aus dem Beschleuniger treffen auf ein Target in der Streukammer, werden in das Spektrometer gestreut und durch einen Quadrupolmagneten fokussiert. Der Dipolmagnet lenkt die Teilchen auf die Fokalebene hinter der sich, durch eine Bleiabschirmung geschützt, das Detektorsystem aus Vieldraht-Driftkammern und Triggerdetektoren befindet [16].

Durch dieses Umlenken werden die Energie- beziehungsweise Impulsinformationen in Ortsinformationen umgewandelt. Die Messung mit Driftkammern ist darauf ausgelegt, die Trajektorie des in der Streukammer gestreuten Elektrons zu bestimmen. Hierfür werden die Driftzeiten der in der Vieldraht-Driftkammer ionisierten Teilchen gemessen. Mit der zuvor bestimmten Driftzeit-Weg-Beziehung kann so eine Elektronentrajektorie errechnet werden. Da der Ort der Fokalebene

des Spektrometers bekannt ist, kann man den Durchstoßort durch selbige mit dem Vektor der Elektronenbahn errechnen. Über die Parameter des Spektrometers ist es möglich diese Ortsinformationen wieder in Energie- beziehungsweise Impulsinformationen zurückzutransformieren.

Das komplette System wurde auf Koinzidenzexperimente ausgelegt, wodurch sich spezifische Anforderungen ergeben. Es müssen eine Zeitauflösung von ≈ 1 ns, sowie eine große Raumwinkel- und Impulsakzeptanz gegeben sein. Da das Spektrometer nur einen kleinen Raumwinkelbereich abdecken kann, ist es drehbar gelagert. Somit ist es möglich Streuwinkel von 25 bis 155° zu vermessen. Weiterhin soll die Energieauflösung des Detektorsystems besser sein, als die des Elektronenstrahls, wodurch nicht das Spektrometer selbst der limitierende Faktor ist. Es ergeben sich also mehrere Spezifikationen an das Spektrometer, welche in [8] nachgelesen werden können.

2.2 Physikalische Grundlagen von Vieldraht-Driftkammern

Die Idee, Vieldraht-Driftkammern als Detektoren einzusetzen, wurde in den 60er Jahren von Georges Charpak entwickelt [17], der dafür im Jahre 1992 den Nobelpreis erhielt. Ein klarer Vorteil dieser Messmethode gegenüber Blasen- oder Nebelkammern ist es, dass die Daten direkt elektronisch ausgelesen werden können und nicht erst optisch festgehalten werden müssen.

Violdraht-Driftkammern (ab jetzt nur noch Driftkammern genannt) sind eine ebene Lage von Proportionalzählrohren ohne eine physische Trennung. Durch diesen Aufbau ist das elektrische Feld, welches in der zylindrischen Anordnung eines Zählrohrs radialsymmetrisch ist, modifiziert (siehe Abb. 2.3). Die Driftkammer wird von zwei Kathodenfolien abgeschlossen innerhalb derer ein Volumen, in dem die Drähte liegen, mit einem Gasgemisch aus typischerweise einem Edelgas und einem organischen Gas gefüllt ist (siehe Abb. 2.2).

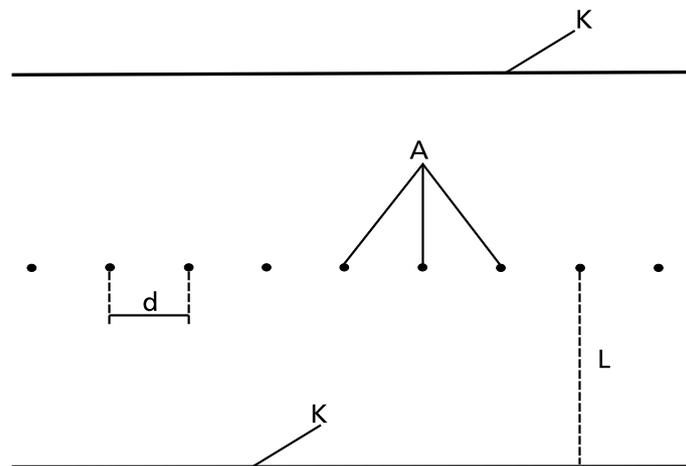


Abbildung 2.2.: Aufbau einer Driftkammer: Die Kathodenfolien K, welche sich im Abstand L von den Anodendrähten (Zähldrähten) A befindet, wird gegenüber diesen auf eine negative Hochspannung gelegt. Die Anodendrähte haben einen Abstand von d zueinander. Das gesamte Volumen der Kammer ist mit einem Gas geflutet.

Die Lawinenbildung läuft ähnlich wie bei einem Proportionalzählrohr ab. Man kann die Entstehung eines Signals folgendermaßen beschreiben:

- Ein geladenes Teilchen durchläuft die Kammer und ionisiert auf seinem Weg Atome des Gasgemisches.
- Das Primärelektron wird im starken elektrischen Feld entlang der Feldlinien beschleunigt, sodass es zwischen zwei Stößen genügend Energie aufnimmt, um selbst Atome zu ionisieren.
- Durch die Diffusion wird die Elektronenwolke verbreitert und trifft schließlich am Draht auf. Dieses Auftreffen kann als Spannungssignal erfasst werden.

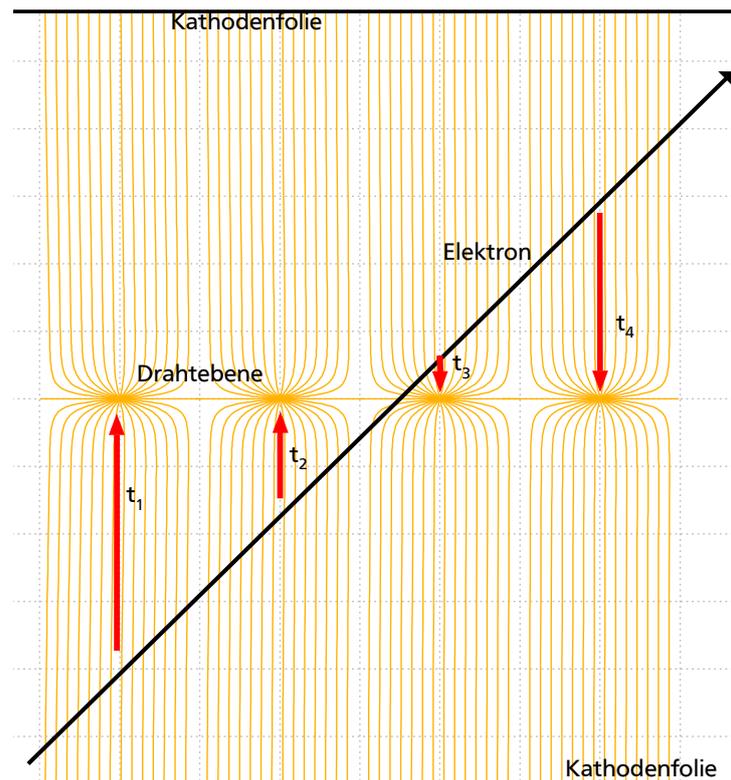


Abbildung 2.3.: Das Bild zeigt eine schematische Darstellung einer Driftkammer. Die Kathodenfolien werden gegenüber der Drähte auf eine negative Hochspannung gelegt, wodurch die ionisierten Elektronen sich entlang der Feldlinien in Richtung der Drähte bewegen und detektiert werden können. Der Verlauf der Feldlinien wurde mit dem Programm GARFIELD [18] und den Driftkammerparameter der QCLAM-Driftkammer simuliert.

Typischerweise werden als Anoden Wolframdrähte mit einer Goldplattierung und einem Durchmesser von 10 bis 30 μm verwendet. Der Abstand der Drähte untereinander liegt im Bereich von 2 mm und zwischen Drähten und Kathodenfolie bei 10 mm [19].

Das Innere der Kammer ist mit einem Gasgemisch gefüllt. Dieses muss verschiedenen und teils gegensätzlichen Eigenschaften gerecht werden. Zunächst muss das Gas eine geringe Elektroneneinfangwahrscheinlichkeit besitzen, dies schließt Gase mit einer hohen Elektronegativität aus. Weiterhin sollte das Gas möglichst günstig sein, eine gute Gasverstärkung bei niedrigen elektrischen Feldern aufweisen, sowie ein möglichst gutes Signal-Rausch-Verhältnis ermöglichen. Die letztere Eigenschaft findet man insbesondere bei Gasen mit hoher Primärionisationsstatistik,

wie Xenon oder Krypton. Diese Gase sind allerdings sehr teuer, weshalb man in den meisten Kammern Argon als Zählgas benutzt [11].

Um die Elektronenlawine zu regulieren und somit eine Entladung zu unterbinden wird ein Löschgase benötigt. Hierfür bietet sich ein molekulares Gas wie beispielsweise Propan, Isobutan oder Kohlenstoffdioxid an. Diese besitzen Rotations- und Vibrationsanregungen, welche unterhalb der Ionisationsenergie der Moleküle liegen. Hierdurch können die Moleküle die über Photoionisation entstehende Elektronenlawine ausbremsen, indem sie die Photonen absorbieren. Die bei der Lawinenbildung entstehenden Photonen können mit der Außenwand der Kammer oder mit anderen Atomen wechselwirken, wodurch sich die Elektronenlawine immer weiter verstärkt. Ist die Anzahl der Elektronen zu groß, kann ein elektrischer Überschlag entstehen, welcher die Drähte in der Kammer schädigt. Durch die große Zahl an Anregungszuständen in einem molekularen Gas ist es möglich, dass die freiwerdenden Photonen von den Molekülen absorbiert werden, ohne dass neue Elektronen oder Photonen entstehen. Es wäre durchaus auch möglich, eine Kammer ausschließlich mit einem solchen Löschgase zu betreiben. Allerdings müsste man in diesem Falle eine sehr hohe Spannung anlegen, um die benötigte Gasverstärkung zu erreichen. Weiterhin würde sich die Diffusion der Elektronenwolke stark erhöhen, was zu einer Verschlechterung der Auflösung der Kammer führt.

Das Hinzufügen eines Löschgases in das Zählgas bedingt also eine Stabilisierung der Gasverstärkung über weite Bereiche der angelegten Spannung. Auch wenn die Spannung, die angelegt werden muss, um die gewünschte Verstärkung zu erreichen, sich gegenüber einer Kammer, die nur mit einem Edelgas betrieben werden würde, erhöht [20].

Die Ortsbestimmung in Driftkammern ist mit einer Zeitmessung gekoppelt. Es wird die Driftzeit der Elektronen vom Ionisationsort bis zum Zählrohr gemessen. Den Eintrittszeitpunkt in die Kammer legt ein Triggersignal, welches mit einem externen Szintillator erzeugt wird, fest. Man kann hierfür beispielsweise einen Szintillator benutzen, der sich hinter der Driftkammer befindet und den das mit nahezu Lichtgeschwindigkeit fliegende Elektron durchquert. Kennt man nun die Driftzeit-Weg-Beziehung, kann man aus der Driftzeit den orthogonalen Abstand der Ionisation zum Draht errechnen. Bekommt man auf mehreren Drähten ein zeitlich versetztes Signal, so kann man eine Elektronenbahn rekonstruieren.

2.3 Detektorsystem des QCLAM-Spektrometers

Das eigentliche Detektorsystem (siehe Abb. 2.4) sitzt in einem abgeschirmten Bereich oberhalb des Ablenkmagneten. Es besteht aus 3 Driftkammern, sowie einem Triggersystem, welches aus einem Szintillator und einem Čerenkov-Detektor zusammengesetzt ist.

Diese Anordnung hinter den Driftkammern ermöglicht eine starke Untergrundunterdrückung. Nur Signale, die zunächst in den drei Kammern und dann auch in den Triggerdetektoren gemessen werden, beachtet man später in der Auswertung. So ist es möglich zufällige Strahlungsergebnisse, welche die Kammern trotz Abschirmung passieren, herauszufiltern.

Es wurden 3 Kammern für das Detektorsystem gewählt, um eine gute Ortsauflösung im Bereich von 0,2 mm [21] und daraus folgend eine relative Impulsauflösung im Bereich vom 10^{-4} zu erreichen. Es werden zwei Kammern in X-Richtung benutzt um die Bahn in dispersiver Richtung zu bestimmen. Zwischen den beiden Drahtebenen sitzt noch eine weitere Kammer, in welcher die Drähte um einen Winkel von $26,5^\circ$ gedreht sind. Durch diese Anordnung wird es möglich auch die Ablage in nicht dispersiver Richtung zu bestimmen [8]. Die Driftkammern

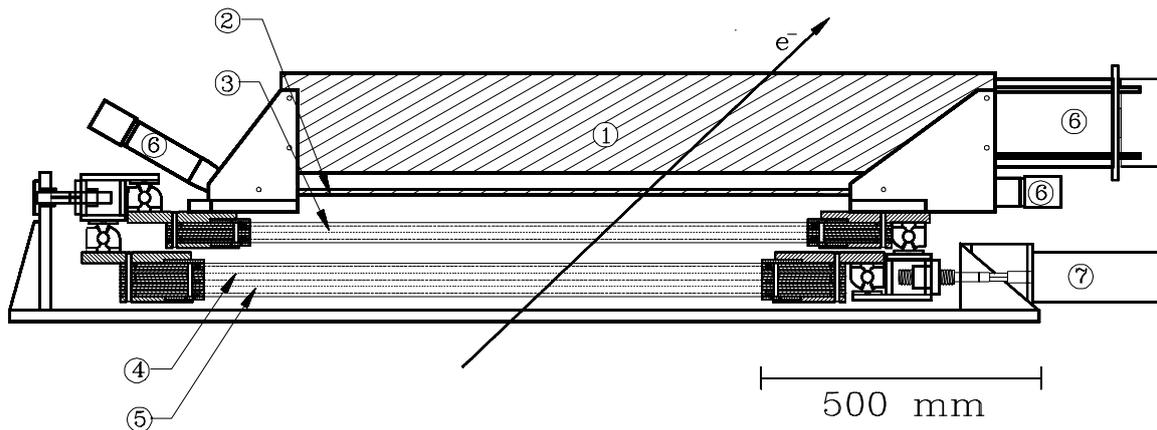


Abbildung 2.4.: Das Detektorsystem besteht aus ① einem Čerenkov-Detektor, ② einem Szintillator, den Drahtebenen X2 ③, ④ U, ⑤ X1, ⑥ den Photomultipliern und einer Verschiebevorrichtung ⑦ [8].

sind nach dem Entwurf von Hummel [21] gebaut worden, es wurden allerdings Modifikationen vorgenommen. Im Unterschied zur ursprünglichen Idee wurde bei der neuen Kammer auf feldformende Drähte verzichtet, jeder Draht ist somit ein Zähl draht [8]. Ebenfalls wurde die Drahtdicke von $20\ \mu\text{m}$ auf $15\ \mu\text{m}$ reduziert. Die wichtigsten Parameter sind in Tabelle 2.1 zusammengefasst. Es sollte möglich sein mit dieser Kammer Ortsauflösungen von etwa $100\ \mu\text{m}$ zu erreichen.

Tabelle 2.1.: Parameter der Driftkammer [8, 21].

Drahtabstand	3 mm
Abstand Kathodenfolie-Drähte	12 mm
maximale Driftzeit (Argon-CO ₂ 40:60)	260 ns
Kathodenfolie	einseitig mit Aluminium bedampfte $7,5\ \mu\text{m}$ Kaptonfolie
Draht	$15\ \mu\text{m}$ dicke goldplatierte Wolfram-Rhenium Drähte
Abstand der beiden X-Ebenen	ca. 90 mm

2.4 Zusammenhang von Driftzeit und Driftweg

Die Berechnung des Durchstoßpunktes in der Drahtebene und die der Elektronentrajektorie setzt voraus, dass man den senkrechten Abstand des Ionisationspunktes zum Draht, welcher ein Signal abgibt, kennt. Der Driftweg der Elektronen geht entlang der Feldlinien zum jeweiligen Draht, wie in Abbildung 2.5 angedeutet ist. Der Abstand z kann aus der gemessenen Driftzeit extrahiert werden, wenn man die Krümmung der Teilchenbahn mit einbezieht. In der Abbildung ist ebenfalls zu erkennen, dass die notwendigen Korrekturen abhängig vom Durchstoßwinkel des primären Elektrons sind. Je größer der Winkel im Bezug zur Drahtebene, desto weiter am Rand einer Driftzelle befindet sich der kürzeste Weg. Für eine räumlich homogen ausgeleuchtete Drift-

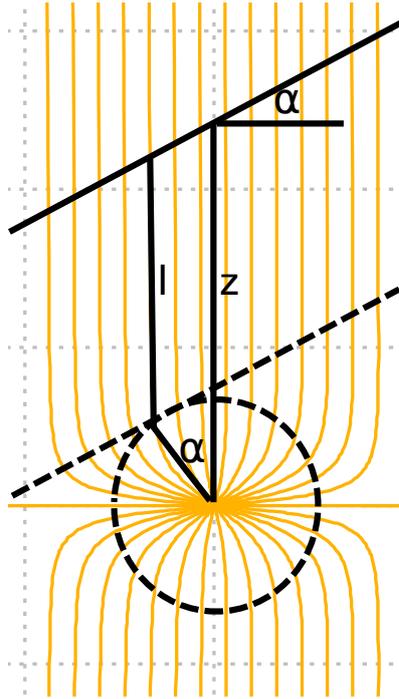


Abbildung 2.5.: Der kürzeste Driftweg l unterscheidet sich in einem inhomogenen Feld vom senkrechten Abstand der Elektronentrajektorie z zum Draht. Je nach Winkel der Bahn unterscheidet sich die Differenz der beiden Wege, es muss ein Korrekturfaktor in die Betrachtung $z \approx l = t \cdot v_{\text{Drift}}$ eingeführt werden.

zelle ergibt sich somit für den Zusammenhang zwischen Driftzeit und Driftweg, da $\frac{dN}{dz} = \text{const.}$:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{dN}{dz} \cdot \frac{dz}{dt} \quad (2.1)$$

$$= C \cdot \frac{dz}{dt} \Rightarrow \quad (2.2)$$

$$z(t_D) = C^{-1} \int_0^{t_D} \frac{dN}{dt} dt \quad (2.3)$$

Der gesuchte Zusammenhang ist das Integral über die Driftzeitverteilung. Der Faktor C ergibt sich aus der Normierung des Driftweges auf die maximale Driftstrecke, die ein ionisiertes Elektron innerhalb der Kammer bis hin zum Draht zurücklegen kann.

Da das QCLAM-Spektrometer eine hohe Winkelakzeptanz von 25° bis 65° besitzt, muss der Zusammenhang zwischen Winkel und Driftzeit ebenfalls untersucht werden. Hierfür muss bei unterschiedlichen Winkeln je eine Driftzeitverteilung aufgenommen und ausgewertet werden.

Der Durchstoßwinkel ist zunächst noch eine unbekannte Größe, wenn man versucht die Elektronentrajektorie zu bestimmen. Er wird allerdings benötigt, um die passende Driftzeitverteilung der Berechnung zu Grunde zu legen. Hummel stellte in seiner Arbeit [21] ein Verfahren hierfür vor.

Der Winkel kann aus einer Iteration mit zwei Schritten bestimmt werden. Unter Zuhilfenahme des Schwerpunktes x_s der Lagen der angesprochenen Drähte, sowie dem bekannten Abstand d_{xx} der Drahtebenen der beiden Kammern in X-Richtung kann der Winkel mit

$$\tan(\alpha_1) = \frac{d_{xx}}{x_{2s} - x_{1s}} \quad (2.4)$$

zunächst abgeschätzt werden. Mit diesem Winkel werden zunächst die Driftwege mit $z(t_D, \alpha_1)$ genähert. Anschließend wird, mit dem durch den Kammeraufbau vorgegebenen Abstand der Drähte Δx und den genäherten Driftwegen zweier Drähte $z(t_i, \alpha_1)$, der Durchstoßwinkel erneut bestimmt.

$$\alpha_2 = \frac{z(t_1, \alpha_1) \pm z(t_2, \alpha_1)}{\Delta x} \quad (2.5)$$

Aus diesem kann dann der endgültige Driftweg $z(t_{Di}, \alpha_2)$ für jede gemessene Driftzeit t_{Di} bestimmt werden. Um die Vorzeichenunsicherheit der gemessenen Driftzeiten zu berücksichtigen wird in Gleichung (2.5) die beste Übereinstimmung zwischen α_1 und α_2 durch das Vorzeichen des zweiten Driftweges festgelegt.

Der Durchstoßwinkel der U-Ebene kann nicht über die Differenzen der Schwerpunkte bestimmt werden, da nur eine Kammer in dieser Richtung zur Verfügung steht. Der erste Iterationsschritt greift auf den zuvor bestimmten Winkel α_2 zurück.

$$\tan(\beta) = \frac{1}{\cos(\gamma)} \cdot \tan(\alpha_2) \quad (2.6)$$

Der Winkel γ ist die Verkippung der Drahtebenen der X- und U-Kammern.

3 Experiment

Der Aufbau des Experiments beinhaltet zwei Teile. Zunächst wird die Elektronik beschrieben, die benötigt wird, um die Signale der Drähte auszulesen. Dieser Aufbau muss eine gute Zeitauf-
lösung von <1 ns besitzen, sowie die Möglichkeit bieten schnell aufeinander folgende Signale zu verarbeiten. Des Weiteren wird ein Konzept benötigt, welches es erlaubt, über lange Zeit konstanten Gasfluss zu gewährleisten, sodass innerhalb der Driftkammer immer das gleiche Mischverhältnis der Gase vorliegt.

3.1 Elektronik

Zum Testen der Ansprechwahrscheinlichkeit und der Driftgeschwindigkeit wurde im Grunde der gleiche Aufbau verwendet, wie er auch für spätere Experimente am QCLAM-Spektrometer vorgesehen ist. Der Unterschied besteht darin, dass das Triggersystem nur aus einem Szintillator besteht und auf den Čerenkov-Detektor verzichtet wird (siehe Abb. 3.1). Wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, ist es für die spätere Rekonstruktion der Elektronentrajektorien notwendig die Driftzeiten der ionisierten Elektronen zum Zählrohr zu messen. Hierfür wird eine Elektronik benötigt, welche die analogen Signale aus der Driftkammer in digitale Messwerte umwandelt.

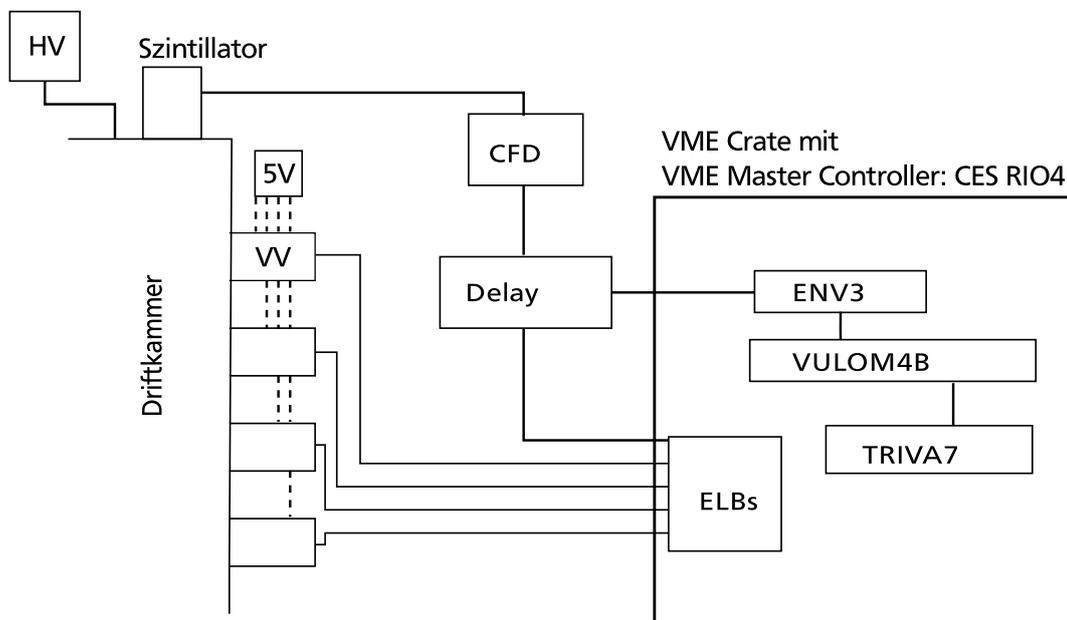


Abbildung 3.1.: Der Versuchsaufbau besteht aus den in Abschnitt 2.3 beschriebenen Driftkammern. Die Signale der an die Driftkammer angeschlossenen Vorverstärker werden an die ELB-TDCs mit ELB-MEZ-UIM Erweiterung [22] gegeben. Das Trigger-signal des Szintillators wird verzögert und in einen 16-Kanal VME ECC-NIM-ECL Konverter (ENV3) [23] gegeben und von der VULOM4B [24] in ein kodierte Signal umgewandelt, welches die TRIVA7[25] verarbeiten kann.

Trotz der entstehenden Elektronenlawine ist die Ladung, welche abgegriffen werden kann, zu gering, um sie direkt zu verarbeiten. Deshalb werden die Signale zunächst auf im Haus gefertigte 16 Kanal Vorverstärker gegeben [26], welche an der Kammer angebaut sind. Die Vorverstärker geben ein differentielles Signal an die TDC-Module VFB6 der Firma ELB Bonn weiter. Überschreitet ein Signal die im Modul eingestellte Leading-Edge-Diskriminator-Schwelle, so wird der dazugehörige Zeitpunkt in den internen Ringspeicher abgelegt. Das Trigger-Signal aus dem Szintillator wird mittels eines Delays um die maximale Driftzeit verzögert und an die TDC-Module geleitet. Beim Eintreffen des Trigger-Signals überprüft das TDC-Modul, ob im Ringspeicher Zeitpunkte innerhalb eines 260 ns langen Intervalls vorliegen. Ist dies der Fall, so werden sie für die nächste Datenauslese durch den VME Master-Controller in den Auslese-Datenspeicher abgelegt. Zusätzlich wird das verzögerte Trigger-Signal an das ENV3-Modul weitergeleitet, wodurch es in ein ECL-Signal umgewandelt wird, sodass es durch das VULOM4B-Modul verarbeitet werden kann. Dieses gibt ein kodiertes Signal an die TRIVA7 weiter, wodurch das CES RIO4 Modul die Signale der letzten 260 ns ausliest.

3.2 Gasflusssystem

Da in den Driftkammern mit einem Gasmisch gearbeitet wird, muss Gas aus mindestens 2 Flaschen zusammengeführt werden. Dies geschieht über Massenflussregler und ein Multigascontrollsystem. Hierfür wird der Multigascontroller 147 in Kombination mit zwei Massenflussreglern des Typs 1559a der Firma MKS genutzt.

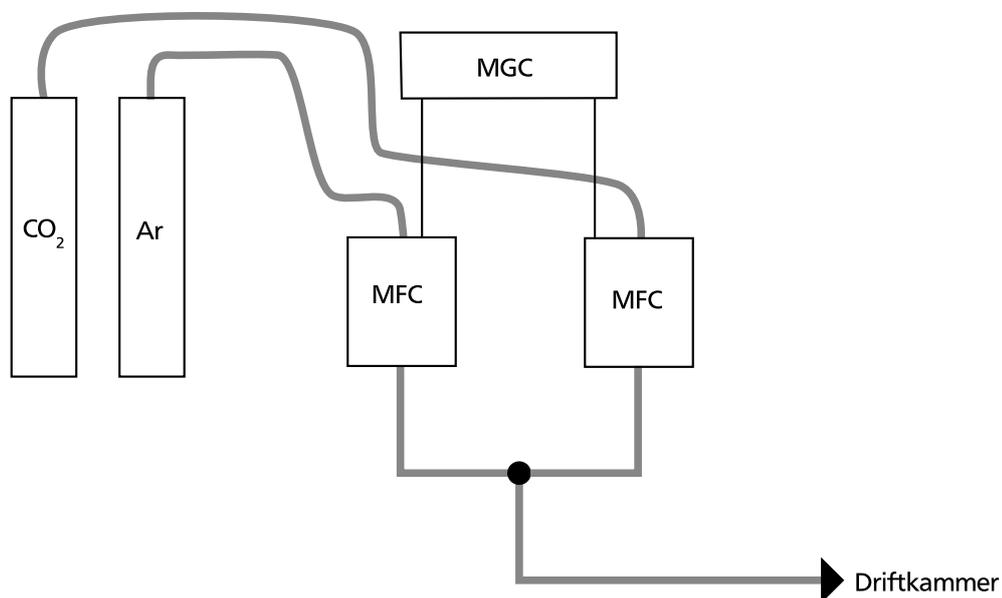


Abbildung 3.2.: Aus den Gasflaschen wird das Gas in die Massenflussregler geleitet. Im Anschluss wird das Gasmisch in einer Leitung in die Driftkammern geführt. Die Durchflussmenge und das Mischverhältnis wird über den Multigascontroller gesteuert.

Die Massenflussregler besitzen eine variable Durchflussmenge von 2 bis 200 slm (Standard Liter pro Minute) bei Argon und 1 bis 100 slm für CO_2 , hierbei ist eine Ungenauigkeit von 1 %

in den Datenblättern gegeben [27], insofern die Massenflussregler auf das passende Gas geeicht sind. Aus den Unterlagen ergibt sich, dass die Massenflussregler nicht auf Isobutan geeicht werden können. Allerdings auf Argon, wie auch auf CO₂ [27]. Hierdurch ist es möglich, den Gasfluss und somit das Mischverhältnis genauer zu bestimmen.

Das Multigassystem bietet die Möglichkeit, die Gase in einem relativen Verhältnis zueinander in die Kammer einzuleiten. Man gibt einen Master-Kanal vor, auf welchen sich die Slave-Kanäle beziehen. Hierdurch kann bei den Versuchen mit verschiedenen Mischungsverhältnissen die Steuerung vereinfacht werden, da nur noch das Verhältnis umgestellt werden muss und nicht mehr die beiden Gasflüsse separat.

In einer Miniforschung [28] wurde dieses System schon einmal über das hauseigene Netz mit Hilfe eines LabVIEW-Programms ferngesteuert. In diesem Programm wurde allerdings nicht die Steuerung der Gase relativ zueinander eingeplant. Zur Zeit ist das Multigaskontrollsystem auch nicht über das Netz erreichbar, eine Überprüfung des Programms und die Verbindung zum Gassystem steht noch aus. Ebenfalls ist nicht klar, ob die Steuerung mit relativem Gasfluss mit dem derzeitigen Programm umzusetzen ist oder ob es erweitert werden muss.

4 Messung

Die ersten durchgeführten Messungen, sind zur Bestimmung zur Zeitauflösung des Aufbaus. Dann wurden mit dem ursprünglichen Argon-Isobutan-Gemisch im Verhältnis 40:60 Driftzeitverteilungen und Ansprechwahrscheinlichkeiten ausgewertet. Dies ist nötig, um Referenzwerte zu erhalten, mit denen man die Daten der Argon-CO₂ Gemische vergleichen kann. Die Messungen mit beiden Gasgemischen sind jeweils zweigeteilt. Es wurde zunächst festgestellt, ab welcher Spannung eine gleichbleibende Ansprechwahrscheinlichkeit der Drähte erreicht ist. Danach wurde ermittelt, wie sich die Driftzeiten in der Kammer in dem Bereich der konstanten Ansprechwahrscheinlichkeit verhalten. Der Arbeitspunkt sollte so gewählt werden, dass sich eine möglichst hohe Ansprechwahrscheinlichkeit ergibt und gleichzeitig bei Spannungsschwankungen sich die Driftzeiten nur minimal verändern, um die Unsicherheiten in der Trajektorienbestimmung so gering wie möglich zu halten. Für die Messungen im Labor wurde die zweilagige Kammer mit der U und X1 Ebene benutzt.

4.1 Bestimmung der Ansprechwahrscheinlichkeit

Um die Ansprechwahrscheinlichkeit der Drähte zu bestimmen, wurde ein neues Verfahren erarbeitet und von dem, in der Dissertation von Hummel [21] vorgestellten, Abstand genommen. Die Elektronen, welche das Gasgemisch durchquert, ionisieren das Gas. Die dadurch freigesetzten Elektronen driften entlang der Feldlinien zu den Zähldrähten und erzeugen ein Signal, welches detektiert werden kann (vgl. Abschnitt 2.3). Verläuft die Trajektorie längs von beispielsweise fünf Drähten, so sollten diese fünf Drähte auch ein Signal ausgeben (siehe Abb. 4.1). Es kann allerdings auch sein, dass ein Draht kein Signal liefert (siehe Abb. 4.2). Die Ansprechwahrscheinlichkeit eines einzelnen Drahtes kann demnach aus dem Verhältnis von Ereignissen mit abgegebenem Signal, zu Ereignissen ohne abgegebenes Signal errechnet werden. Hierbei ist wichtig, dass man nur Ereignisse betrachtet, bei denen man sicher sein kann, dass ein Draht hätte ein Signal abgeben sollen. Beispielsweise kann man bei einem Ereignis, bei welchem vier Drähte am Stück ein Signal abgegeben haben, nicht mit Sicherheit sagen, ob ein fünfter Draht hätte anspringen sollen, oder ob die Trajektorie des Elektrons nur an vier Drähten entlang ging (siehe Abb. 4.2). Wenn allerdings um einen Draht, der kein Signal liefert, auf beiden Seiten jeweils zwei Nachbardrähte ein Signal liefern, ist es sehr wahrscheinlich, dass dieser auch hätte anspringen müssen.

Um zu testen, ob diese Art der Berechnung der Ansprechwahrscheinlichkeit eines einzelnen Drahtes ein sinnvolles Ergebnis liefert, wurden Testdateien erzeugt. In diesen wurden die Ansprechwahrscheinlichkeiten der Drähte vorgegeben. In dem in Abbildung 4.3 gezeigten Beispiel sind 70 % als Sollwert der Ansprechwahrscheinlichkeit eingestellt worden. Wie man erkennen kann, weicht die ausgewertete Ansprechwahrscheinlichkeit nur im 0,5 %-Bereich von der vorgegebenen Wahrscheinlichkeit ab. Es zeigt sich, dass die entwickelte Routine sehr gut die Ansprechwahrscheinlichkeit aus gegebenen Daten extrahieren kann.

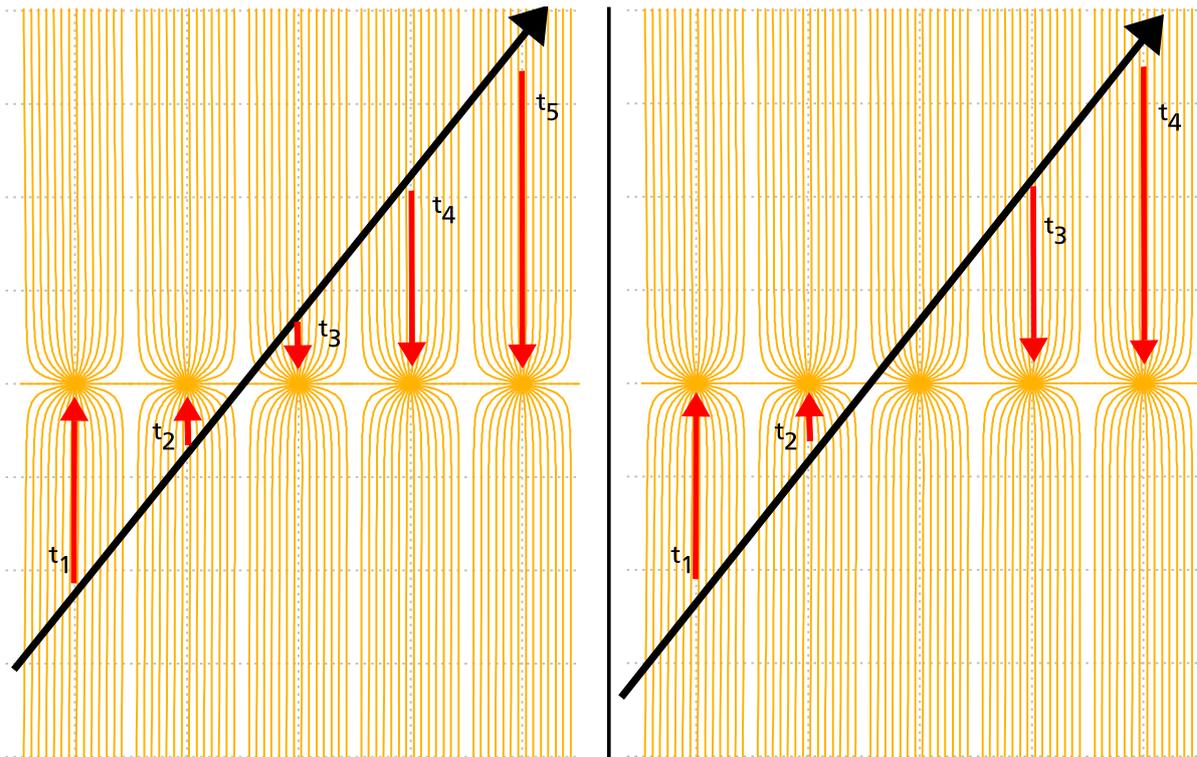


Abbildung 4.1.: Um die Ansprechwahrscheinlichkeit eines Drahtes zu ermitteln wurden Ereignisse verglichen in denen alle Drähte ein Signal abgeben und solche in denen ein Draht, der mit Sicherheit hätte anspringen sollen, kein Signal abgibt.

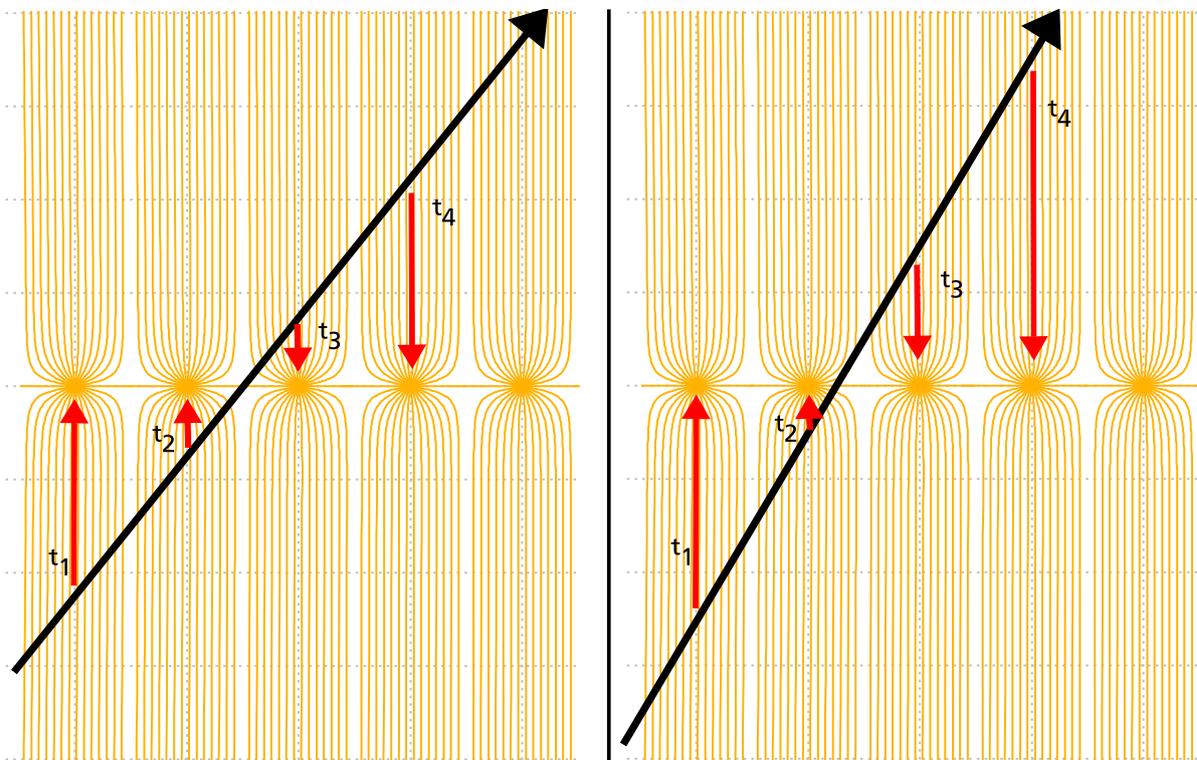


Abbildung 4.2.: Man kann zwischen einem Ereignis, bei dem 4 Drähte am Stück angesprochen haben, nicht mit Sicherheit sagen, ob ein fünfter Draht hätte ein Signal abgeben sollen, oder nicht.

Zu Beginn dieser Arbeit, waren die Driftkammern noch im QCLAM-Spektrometer eingebaut. In dieser Konfiguration wurden zunächst Messungen mit dem momentanen Argon-Isobutan-Gemisch bei einem Verhältnis von 40:60 aufgenommen. Die Veränderlichen hierbei waren der Magnetstrom des Dipolmagneten, wodurch die Elektronen auf verschiedene Bereiche der Kammer fokussiert wurden und die an den Kammern angelegten Spannungen. In Abbildung 4.4 erkennt man, dass bei 5,5 kV die Ansprechwahrscheinlichkeit bei circa 95 % in Sättigung geht. Je nachdem wie groß der mit Elektronen ausgeleuchtete Bereich der Driftkammer war, erhöhten sich die Ströme, die in den Drähten fließen. Es war nicht möglich die angelegte Spannung an der Kathodenfolien weiter zu erhöhen, da sich dann zu hohe Ströme in den Drähten bildeten. Ein zu hoher Strom kann zu Überschlügen führen, die die nur wenige Mikrometer dicken Drähte beschädigen können.

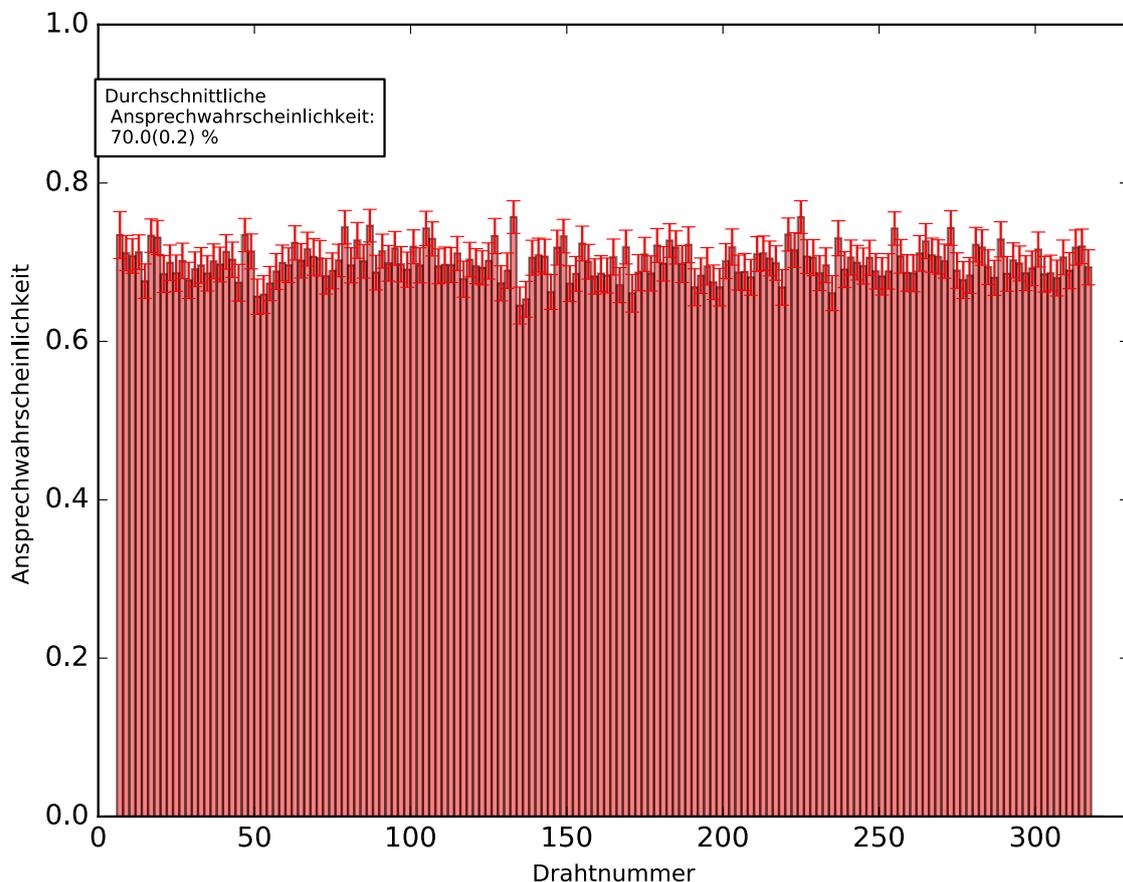


Abbildung 4.3.: Die gezeigte Ansprechwahrscheinlichkeit wurde aus einer Testdatei errechnet, bei der eine Wahrscheinlichkeit der Signalabgabe eines Drahtes bei 70% liegt. Die Abweichung von der vorgegebenen Wahrscheinlichkeit liegt bei unter einem Prozent.

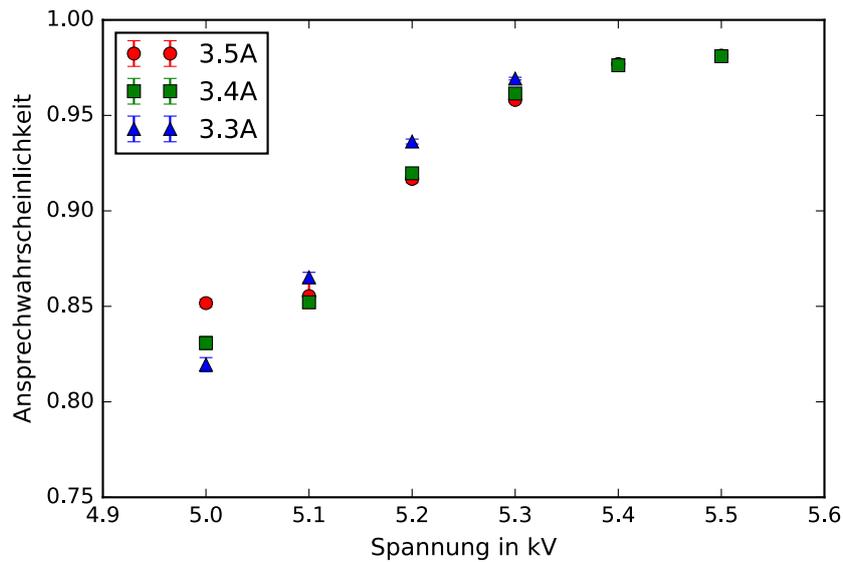


Abbildung 4.4.: Die Ansprechwahrscheinlichkeit der Drähte in der Driftkammer geht ab circa 5,5 kV in Sättigung. Die Werte wurden bei verschiedenen Magnetströmen aufgenommen, wodurch immer auf verschiedene Bereiche der Kammer fokussiert wurde.

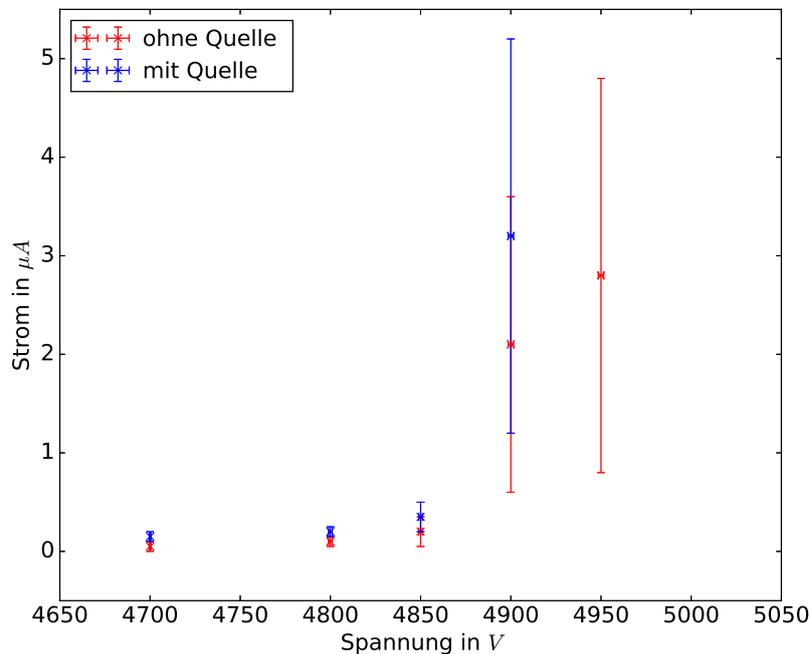


Abbildung 4.5.: Die Messpunkte zeigen, dass der Strom innerhalb der Kammer höhere Werte annimmt, wenn die Kammer mit einer ^{90}Sr -Quelle bestrahlt wird. Die maximal erreichbare Spannung mit einem Argon-Isobutan-Gemisch im Verhältnis 40:60 mit Quelle beträgt 4850 V, da der Strom innerhalb der Kammer sonst zu hoch wird. Die Unsicherheiten in der Spannung sind im 1 V Bereich und deshalb in der Darstellung kaum sichtbar.

Die errechnete Ansprechwahrscheinlichkeit der Einzeldrähte kann benutzt werden, um eine Auswertewahrscheinlichkeit eines gesamten Ereignisses zu erstellen. Es wird angenommen, dass die Trajektorie eines Elektrons an n Drähten vorbeiführt und dass zur Auswertung k Drähte ein Signal ausgeben müssen. Daraus ergeben sich $\binom{n}{k}$ verschiedene Muster an Drähten, die ein verwertbares Ereignis definieren. Jeder Draht der ein Signal ausgibt hat eine Einzeldrahtansprechwahrscheinlichkeit von W_E^{AN} . Gleichzeitig wird über diese die Wahrscheinlichkeit definiert mit der ein Draht kein Signal abgibt, nämlich $1 - W_E^{AN}$. Die Summe über all diese Ereignisse und deren Wahrscheinlichkeiten ergeben dann die Gesamtwahrscheinlichkeit, dass ein Elektron ein verwertbares Ereignis in der Driftkammer generiert.

Diese Rechnung wurde beispielhaft für eine Elektronentrajektorie, die an $n = 5$ Drähten vorbeiführt und für deren Berechnung $k = 4$ Signale benötigt werden, durchgeführt.

$$W_A = \sum_{k=4}^{n=5} \binom{n}{k} \cdot (W_E^{AN})^k (1 - W_E^{AN})^{n-k} \quad (4.1)$$

Bei einer Einzeldrahtansprechwahrscheinlichkeit W_E^{AN} von den oben gezeigten 95 % ergibt sich eine Auswertewahrscheinlichkeit W_A von über 97%. Diese erhöht sich mit jedem Draht, an dem die Trajektorie vorbeiführt.

Die Messungen mit eingebauter Kammer zeigen, dass es möglich ist, die X1-Kammer bei einer angelegten Spannung von 5,5 kV zu betreiben und eine Detektionswahrscheinlichkeit von über 97 % zu erreichen. Bei Labormessungen lies sich die Kammer bis maximal 4,85 kV betreiben (siehe Abb. 4.5), hierbei wurden Detektionswahrscheinlichkeiten von bis zu $94,1 \pm 2,4$ % erreicht (siehe Abschnitt 4.4).

4.2 Zeitauflösung der Messelektronik

Um die Zeitauflösung des Messaufbaus bestimmen zu können, wird ein Signal aus einem Pulser geteilt und auf den Testeingang der Driftkammer und auf einen Constant-Fraction-Discriminator (CFD) geleitet. Das vom CFD verarbeitete Signal wird verzögert und als Trigger der Ausleseelektronik eingesetzt (siehe Abb. 4.6). Die Hochspannung an der Driftkammer ist hierbei nicht angelegt, damit keine Signale ionisierender Strahlung detektiert und ausschließlich die Pulser-Signale aufgenommen werden. Falls der Aufbau insgesamt perfekt arbeiten würde, müsste jedes Signal zu exakt der gleichen Zeit von den TDCs aufgenommen werden. Die Breite des tatsächlichen Signals gibt dementsprechend Aufschluss über die Zeitauflösung der verwendeten Elektronik. Wie in Abb. 4.7 zu sehen ist, beträgt die Zeitauflösung circa 0,104 ns. Die Zeitauflösung für den gesamten Aufbau samt Driftkammer sollte im Bereich von 2 ns liegen, die Zeitauflösung der Elektronik mit ≈ 100 ps fällt nicht ins Gewicht. Die Zeitauflösung der Driftzeitmessung wird demnach durch die Diffusion der Elektronen in der Kammer limitiert.

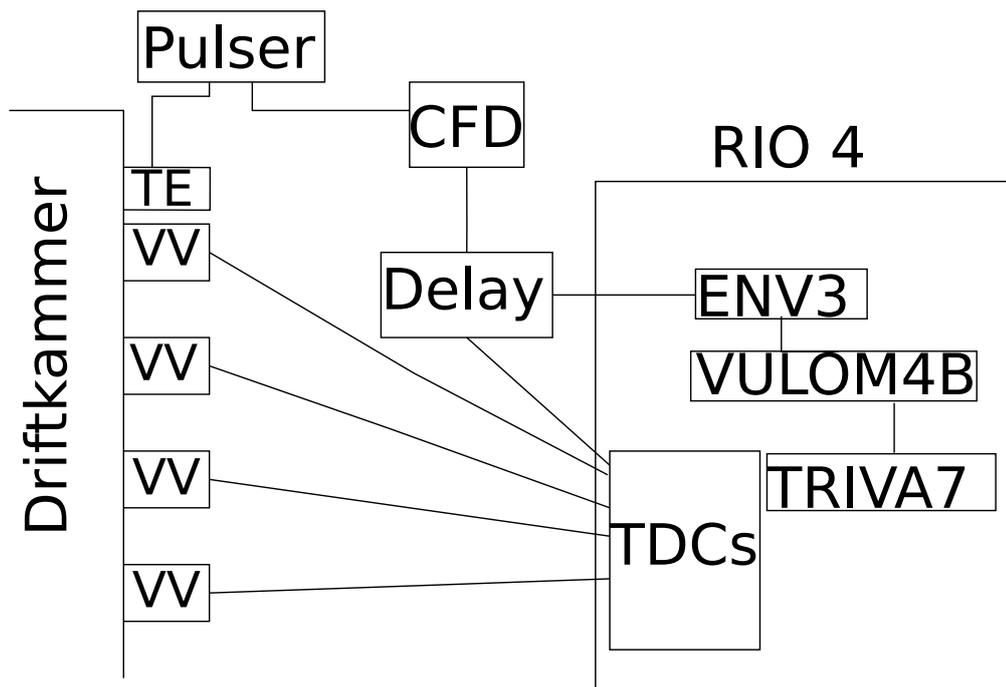


Abbildung 4.6.: Zur Messung der Zeitauflösung wird ein Pulser signal geteilt und auf einen Testeingang der Driftkammer und auf einen Constant Fraction Discriminator geleitet. Das CFD Signal wird verzögert und als Trigger eingesetzt.

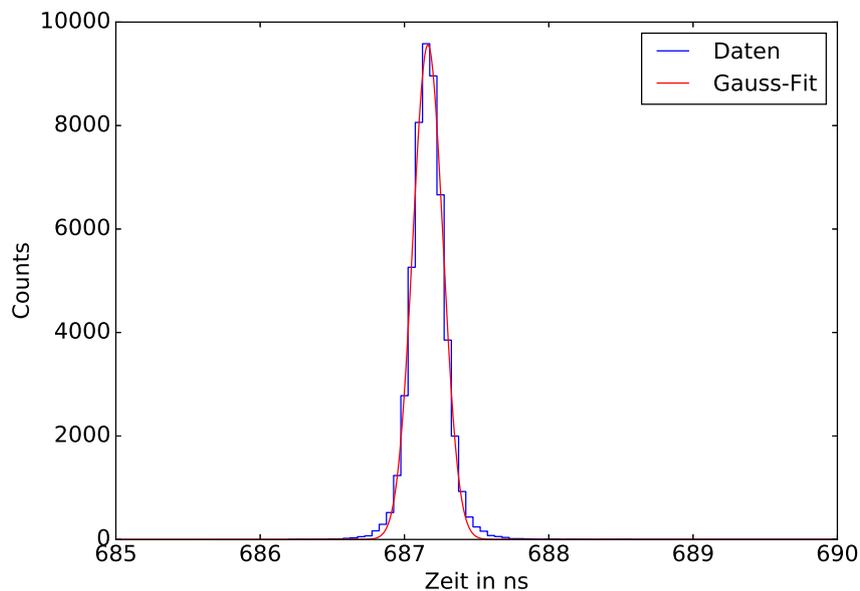


Abbildung 4.7.: Die mit dem Aufbau aus Abb. 4.6 aufgenommenen Zeiten und der an die Daten angepassten Normalverteilung. Die Breite beträgt circa 0,104 ns. Dies entspricht der Zeitauflösung der Elektronik des Aufbaus.

4.3 Zeitauflösung der Driftzeitmessung

Die Zeitauflösung der Driftzeitmessung ist nicht direkt messbar. Mithilfe einer Driftzeitverteilung ist es jedoch möglich, eine Aussage darüber zu treffen, wie groß die Zeitauflösung des gesamten Aufbaus ist. Die in Abb. 4.12 b) gezeigte Verteilung beschreibt die Driftzeiten der Elektronen in der Driftkammer. Man sollte annehmen, dass die kürzeste Driftzeit auch gleichzeitig die höchste Zählrate hat. Allerdings entsteht durch die Diffusion ein Offset, sodass der maximale Peak etwas nach rechts verschoben ist. Wird eine Normalverteilung an die ansteigende Flanke der Driftzeitverteilung angepasst, wie in Abb. 4.8 gezeigt, hat man eine Abschätzung für die Ungenauigkeit der Driftzeitmessung. Diese entspricht dem Sigma der Normalverteilung. Für ein

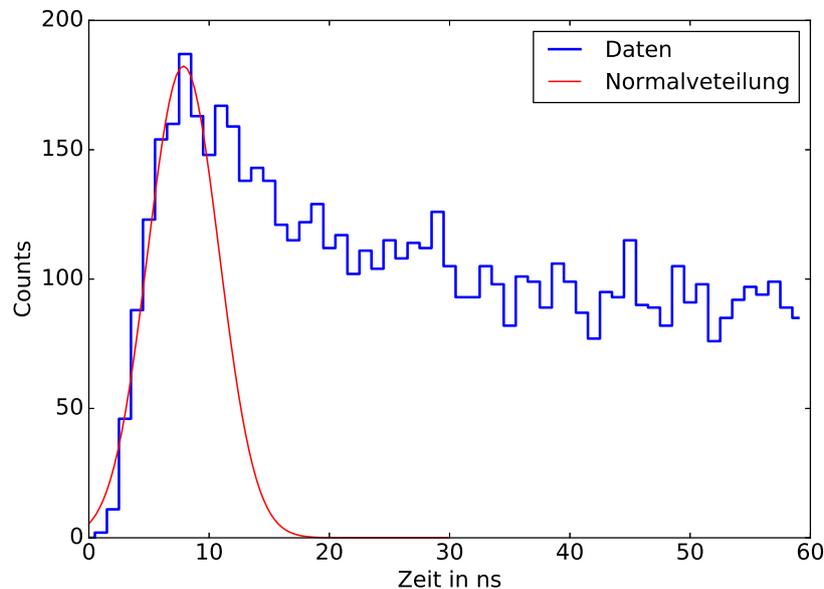


Abbildung 4.8.: Durch einen Fit an die ansteigende Flanke der Driftzeitverteilung kann man die Zeitauflösung des gesamten Messaufbaus bestimmen. Diese entspricht dem Sigma der Normalverteilung. Für ein Argon-Isobutan-Gemisch im Verhältnis 40:60 ergibt sich eine Zeitauflösung von $2,96 \pm 0,18$ ns.

Argon-Isobutan-Gemisch im Verhältnis 40:60 ergibt sich eine Ungenauigkeit von $2,96 \pm 0,18$ ns. Damit ergibt sich mit dem maximalen Driftweg innerhalb der Kammer eine obere Abschätzung für die Ortsauflösung an einem einzelnen Draht.

$$\Delta x = v_{\text{Drift}} \cdot \Delta t \quad (4.2)$$

mit v_{Drift} der Driftgeschwindigkeit der Elektronen. Die Driftgeschwindigkeit von Elektronen in einer solchen Gasmischung beträgt circa $50 \mu\text{m ns}^{-1}$ [11]. Hieraus ergibt sich eine Ortsauflösung in z-Richtung von $148 \pm 9 \mu\text{m}$ für die Messung an einem einzigen Draht. Die Auflösung in x-Richtung hängt jeweils vom verwendeten Algorithmus für die Trajektorienbestimmung ab.

4.4 Driftzeitverteilung der Elektronen

Um die winkelabhängigen Beziehungen zwischen Driftzeit und Driftstrecke bestimmen zu können, wird ein Aufbau auf die Kammer aufgesetzt (siehe Abb. 4.10 a)), sodass die Elektronen-

quelle in definierten Winkeln auf die Kammer gerichtet werden kann. Da der bisherige Aufbau

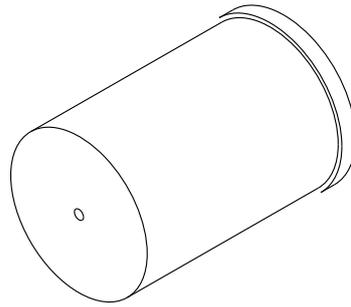
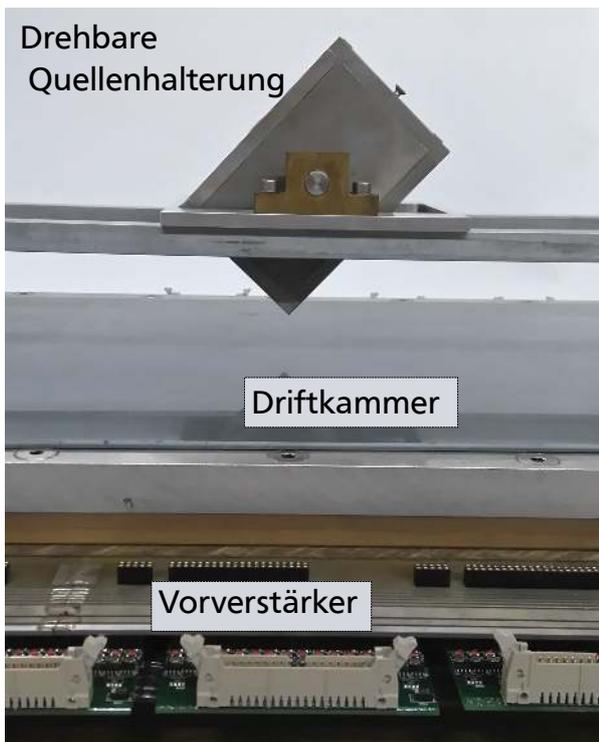
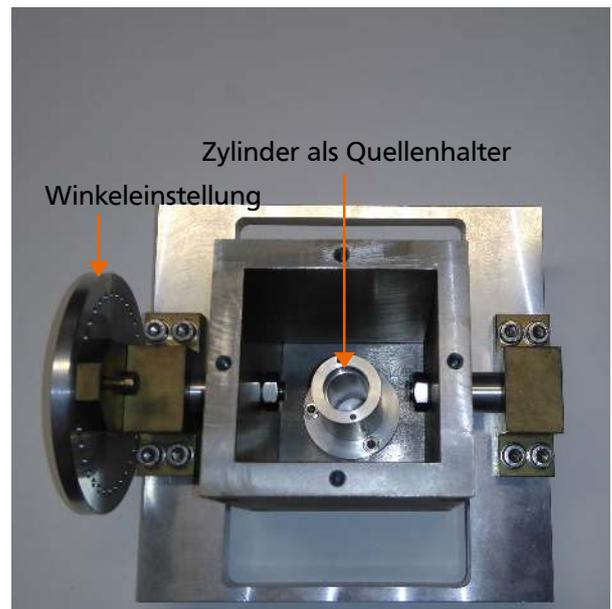


Abbildung 4.9.: Der Kollimator wird in den Quellenhalter Abb. 4.10(b) eingesetzt, um die Unsicherheiten im gewählten Winkel zu minimieren.

einen 15 mm großen Austritt besaß, wurde in der Werkstatt ein Kollimator (siehe Abb. 4.9) mit einer Austrittsöffnung von 5 mm in Auftrag gegeben, um die Unsicherheit im gewählten Winkel zu verkleinern.



(a) Driftkammer in Seitenansicht mit drehbarer Quellenhalterung zur Bestimmung der winkelabhängigen Driftzeit



(b) Innenansicht der drehbaren Quellenhalterung

Abbildung 4.10.: Für die Messung der winkelabhängigen Driftzeit wird ein drehbarer Quellenhalter auf die Kammer gesetzt.

Die Kammer hat im späteren Einsatz am QCLAM-Spektrometer einen Anstellwinkel von 40° zur Sollbahn der Teilchen [21]. Ein Großteil der gestreuten Elektronen wird also in einem Winkel um 40° die Driftkammern durchqueren. Aus diesem Grund wurden für die ersten Messun-

gen der Driftzeiten dieser Anstellwinkel für die Quelle gewählt. Zunächst wurde kein Kollimator benutzt, um möglichst schnell Ergebnisse zu erhalten. Exemplarisch ist in Abb. 4.12 das Driftzeitspektrum für einen Draht gezeigt.

Der hohe Peak ergibt sich daraus, dass in der Nähe der Drähte ein inhomogenes Feld vorherrscht. Hierdurch werden die ionisierten Elektronen in diesem Bereich schneller beschleunigt und haben insgesamt eine kürzere Driftzeit. Es ist erkennbar, dass das Spektrum invertiert werden muss. Ebenfalls ist zu sehen, dass das Spektrum verschoben ist. Dies muss bei der Auswertung behoben werden. Das korrigierte Spektrum ist in Abb. 4.12 b) zu sehen.

Wie in Abschnitt 2.4 erläutert, ergibt sich aus dem Integral über das in Abb. 4.12 b) gezeigte Spektrum das Driftzeit-Weg-Beziehung wie in Abb. 4.13 dargestellt.

Die Winkelabhängigkeit ist in Abb. 4.13 sehr gut zu erkennen. Auch wenn man sich die Driftzeitverteilungen vor der Integration ansieht (Abb. 4.11), erkennt man, dass winkelabhängige Driftzeitverteilungen vorliegen. Selbst für kleine Winkeldifferenzen sind Abweichungen von bis zu 20% in der Driftstrecke bei gleicher Zeit vorhanden. Wie erwartet zeigt sich, dass für jeden möglichen Eintrittswinkel des Elektrons in die Kammer eine Driftzeit-Weg-Beziehung aufgenommen und für die spätere Rekonstruktion der Trajektorien hinterlegt werden muss.

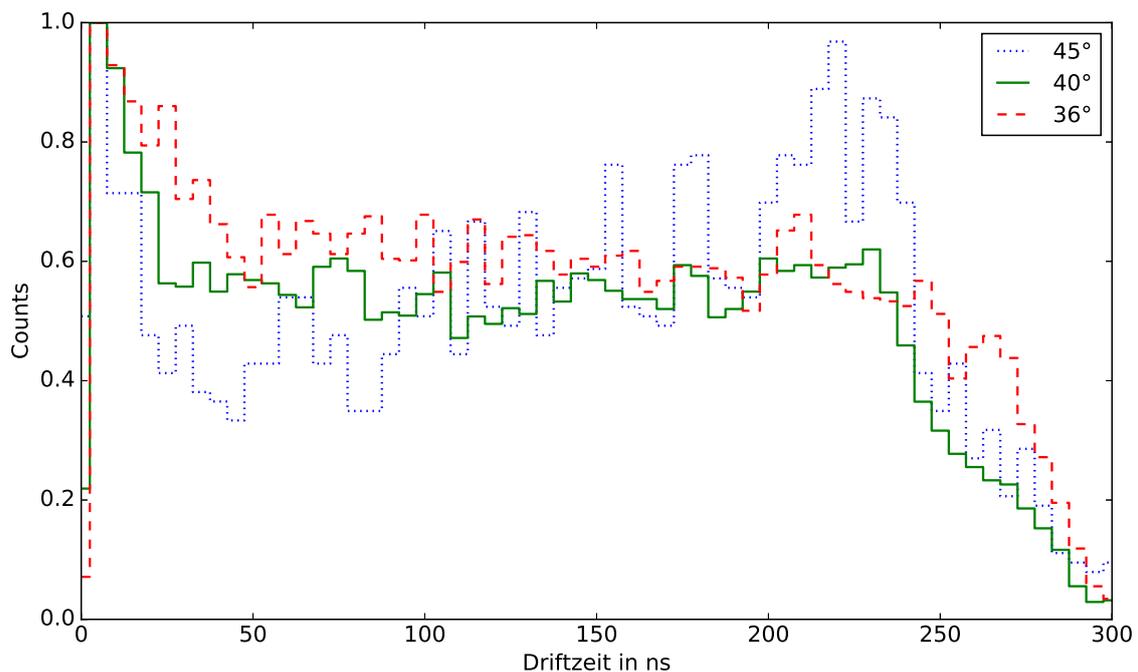
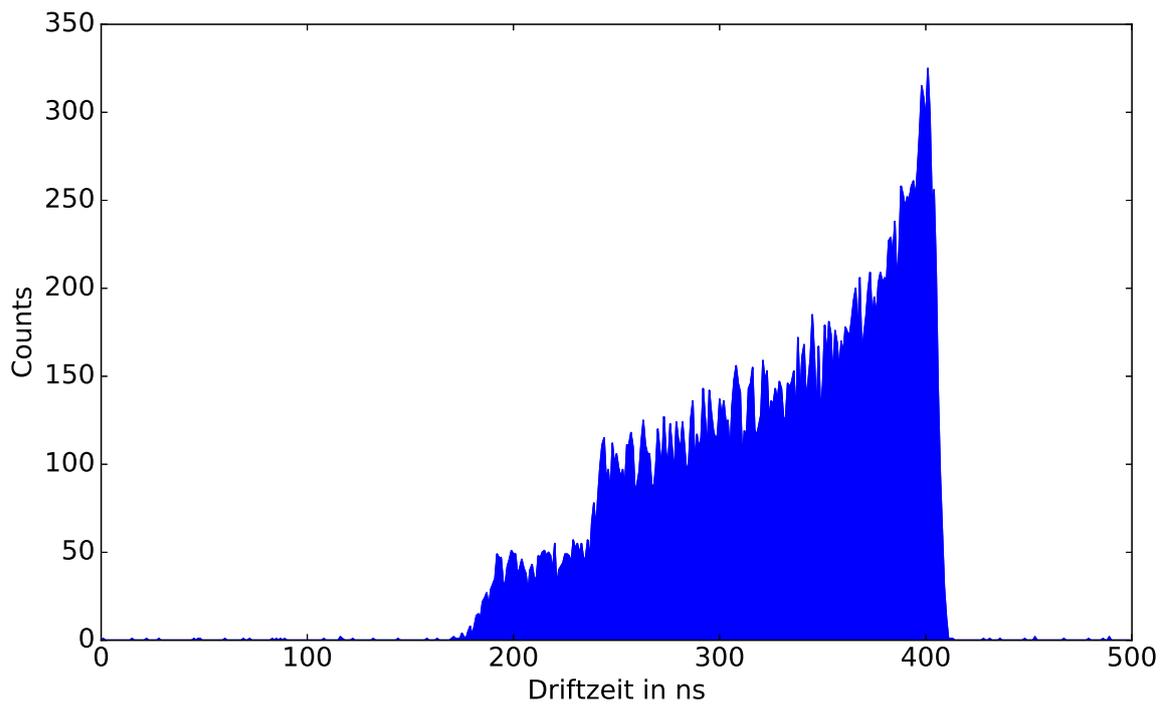
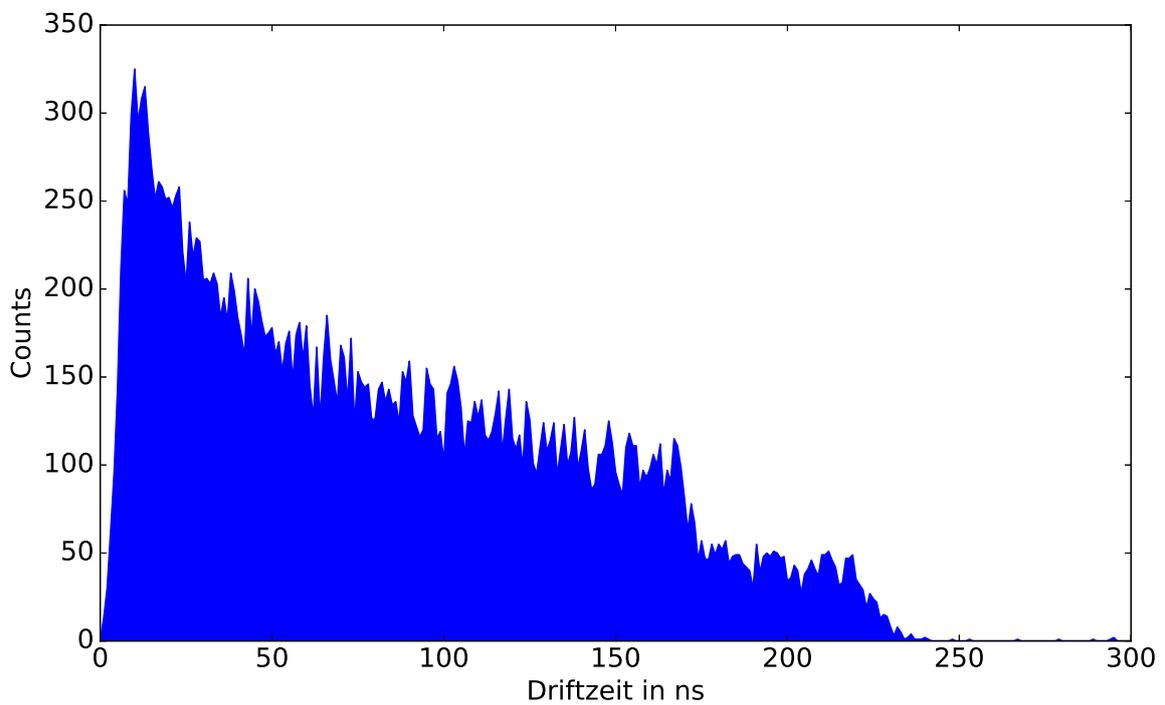


Abbildung 4.11.: Selbst für kleine Winkeländerungen zeigt sich eine Abweichung im Driftzeitspektrum. Um den Unterschied noch deutlicher herauszustellen, wurden alle Spektren auf 1 normiert.

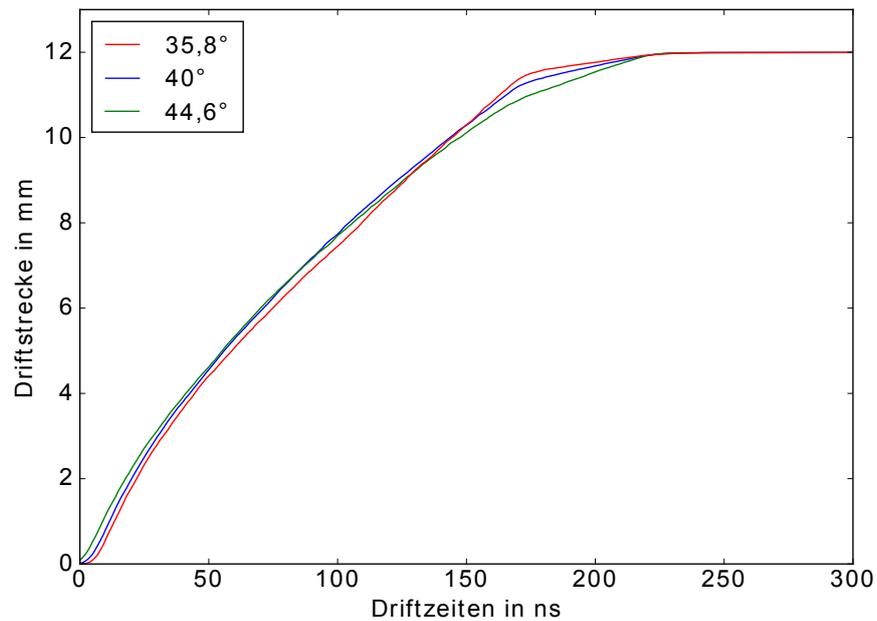


(a)

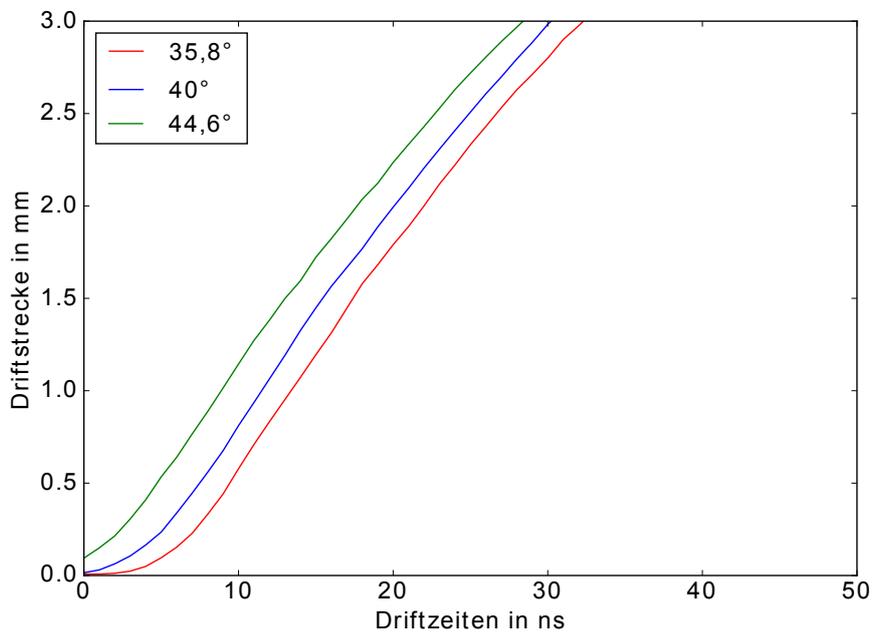


(b)

Abbildung 4.12.: (a) zeigt das Driftzeitspektrum für einen Draht mit einer Binbreite von 1 ns aufgenommen mit dem in 3.1 beschriebenem Aufbau (b) zeigt das korrigierte Driftzeitspektrum



(a) Für verschiedene Eintrittswinkel in die Kammer ergibt sich eine unterschiedliche Driftzeit-Weg-Abhängigkeit. Die Graphen ergeben sich nach Abschnitt 2.4 aus dem Integral der Driftzeitverteilung in Abb. 4.12.



(b) Dieser Ausschnitt ist eine Vergrößerung der Abb. 4.10 (a), um die verschiedenen Abhängigkeiten zu zeigen.

Abbildung 4.13.: Die Driftzeit-Weg-Abhängigkeiten zeigen, dass selbst bei geringen Winkeländerungen Unterschiede in selbigen auftreten. Aus diesem Grund müssen die Driftzeit-Weg-Abhängigkeiten für alle Eintrittswinkel der Elektronen in die Kammer vermessen und als Datei abgelegt werden.

4.5 Gasgemische

In der folgenden Auswertung der Daten für verschiedene Gasgemische, werden nur jeweils 48 Drähte betrachtet. Für die ersten Tests wurden nur ein TDC ausgelesen, um einen schnellen Überblick über mögliche in Frage kommende Gemische zu bekommen. Für ein neues Gasgemisch mit den passenden Eigenschaften, muss anschließend eine Messung vorgenommen werden, in der nach und nach die gesamte Kammer abgefahren wird. Dies erlaubt eine Aussage über die Ansprechwahrscheinlichkeit aller eventuell defekter Drähte.

4.5.1 Argon-Isobutan-Gemisch

Wie in Abschnitt 4.1 gezeigt wurde, ist es sinnvoll mit der höchstmöglichen Spannung zu arbeiten, die an die Kammer angelegt werden kann, um die Ansprechwahrscheinlichkeit zu maximieren. Das bisher genutzte Gas ist eine Mischung aus Argon und Isobutan im Verhältnis 40:60. In Abbildung 4.5 ist das Spannungs-Strom-Verhältnis bei einem solchen Gemisch gezeigt. Die maximal mögliche Spannung beträgt 4850 V. Zunächst wurde eine Messung mit angelegter Hochspannung, aber ohne Strahlungsquelle vorgenommen, um den Untergrund zu bestimmen (siehe Abb. 4.14).

Aus der Anzahl der Trigger-Signale T , dem Zeitfenster Z , welches von diesen geöffnet wird und der durchschnittlichen Anzahl von aufgenommenen Signalen pro Draht DS ergibt sich die Anzahl der Ereignisse pro Draht und Zeit E_{DZ} .

$$E_{DZ} = \frac{DS}{T \cdot Z} = \frac{14,26}{2307254 \cdot 1,2 \mu s} \quad (4.3)$$

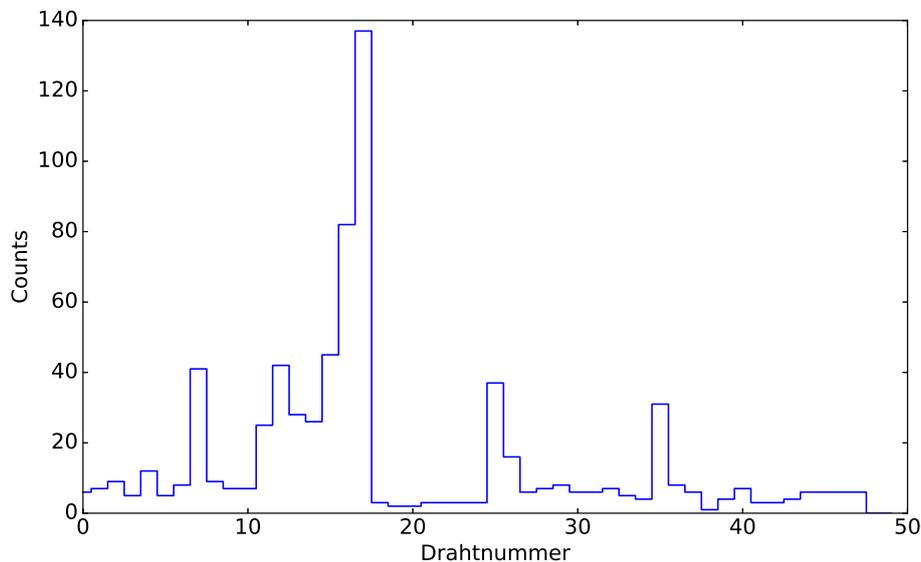


Abbildung 4.14.: Untergrundmessung mit einem Argon-Isobutan-Gemisch im Verhältnis 40:60. Im Schnitt sind 14 Events pro Draht über die Zeit der Messung aufgenommen worden. Es wurden 2 307 254 Trigger – Signale gesetzt. Jedes öffnet ein Zeitfenster von $1,2 \mu s$, in denen Signale verarbeitet werden. Man nimmt also $5,1 \pm 3,3 s^{-1}$ Signale pro Draht auf.

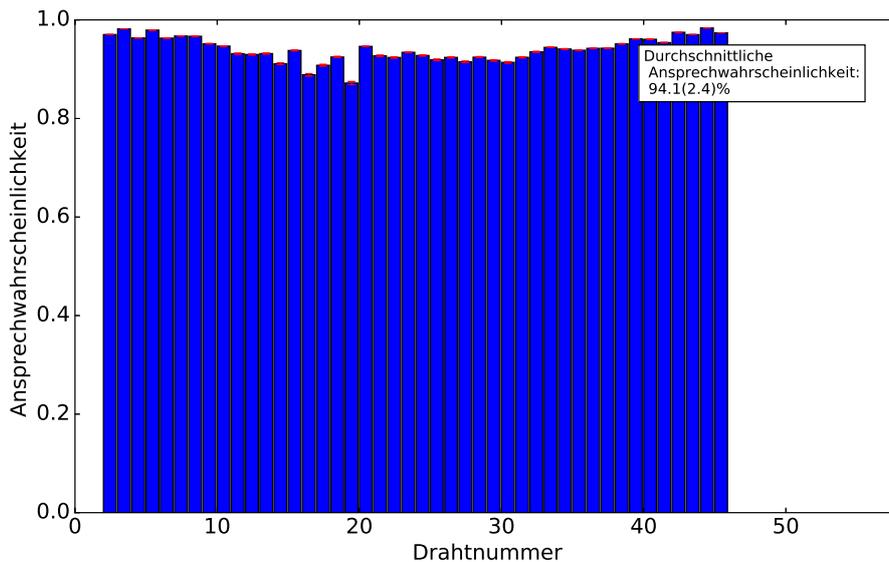


Abbildung 4.15.: Die durchschnittliche Ansprechwahrscheinlichkeit bei einem Argon-Isobutan-Gemisch im Verhältnis 40:60 beträgt bei einer angelegten Hochspannung von 4850 V $94,5 \pm 2,6$ %.

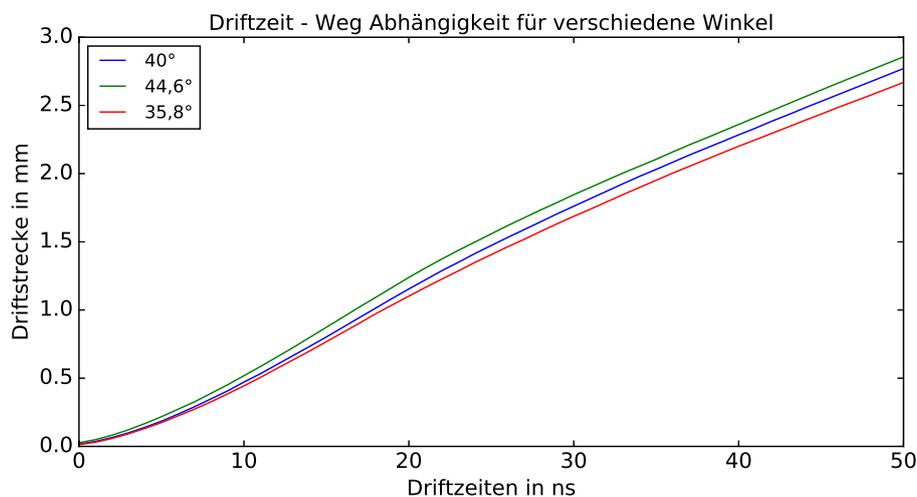


Abbildung 4.16.: Das Driftzeit-Weg-Verhältnis für ein Argon-Isobutan-Gemisch im Verhältnis von 40:60 stimmt gut mit den alten Daten aus [21] überein. Selbst für kleine Winkel-differenzen sind Abweichungen von bis zu 20 % in der Driftstrecke bei gleicher Zeit vorhanden.

Es ergibt sich, dass durchschnittlich $5,1 \pm 3,3$ Signale/s aufgenommen werden. Bei einer Ereignisrate von durchschnittliche $48\,705\text{ s}^{-1}$ mit einer auf der Kammer angebrachten Quelle, fällt dies nicht ins Gewicht. Die Ansprechwahrscheinlichkeit eines Drahtes bei dieser Spannung beträgt wie in Abbildung 4.15 gezeigt durchschnittlich $94,5 \pm 2,6$ %. Mit den Daten die mit dieser Konfiguration aufgenommen wurden, kann man ebenfalls eine Driftzeit-Weg-Abhängigkeit er-

stellen. Diese ist in Abb. 4.16 gezeigt. Die hier gezeigten Werte insbesondere für 40° entsprechen den alten Messungen [21].

4.5.2 Argon-CO₂-Gemisch

Zunächst wurde auch bei CO₂ als Löschgas ein Untergrund Spektrum aufgenommen. Bei dem in Abb. 4.17 gezeigten Spektrum wurden 10 % CO₂ in der Gasmischung verwendet. Wie in Gleichung (4.3) beschrieben lässt sich eine durchschnittliche Anzahl von Ereignissen pro Draht und Sekunde berechnen. Es ergeben sich $3,3 \pm 3,2$ Signale/s pro Draht. Bei einer Rate von

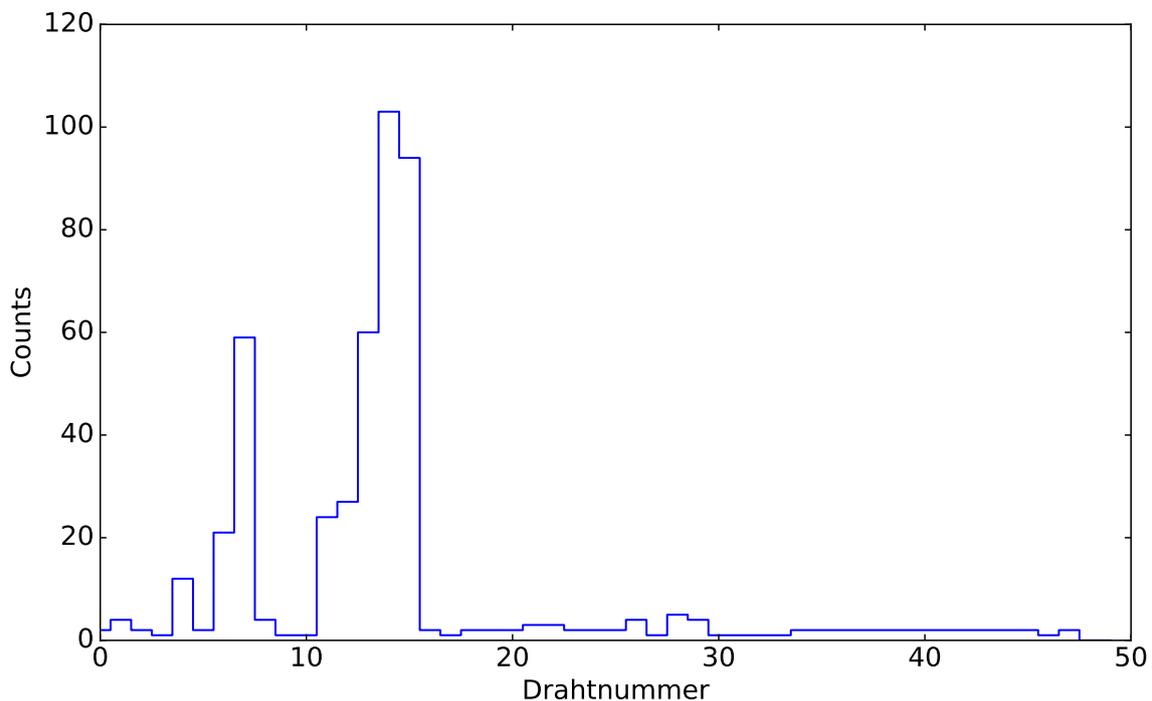


Abbildung 4.17.: Für einen CO₂-Gehalt von 10 % in der Gasmischung ergibt sich eine Untergrundrate von $3,3 \pm 3,2$ Signale/s pro Draht.

1255 Signale/s pro Draht mit aufgesetzter Quelle ist auch diese Untergrundrate zu vernachlässigen. Wie auch schon bei der Untergrundaufnahme mit Isobutan zeigt sich, dass manche Drähte sehr viel mehr Ereignisse aufnehmen, als andere. Es muss noch untersucht werden, ob es sich hier um defekte Drähte oder zufällige Abweichungen handelt.

Da bisher bei Experimenten eine Argon-Isobutan-Mischung im Verhältnis 40:60 verwendet wurde, sind erste Tests mit CO₂ ebenfalls mit diesem Verhältnis durchgeführt worden. Wie in bspw. [11] und [29] beschrieben wird, ist ein Verhältnis von 80:20 ebenfalls eine oft genutzte Mischung für Driftkammern, deshalb werden diese beiden Verhältnisse zuerst vermessen. Weiterhin wird das Gasverhältnis von 90:10, welches am K600 Spektrometer in den iThemba LABS [30] eingesetzt wird, getestet. Im Anschluss daran wird die Mischung in 5 % Schritten variiert, um ein geeignetes Verhältnis zu finden. Die maximale Spannung, die bei 40:60 angelegt werden kann ist 5400 V. Wie im Anhang in Abb. A.4 dargestellt ist, ist die Ansprechwahrscheinlichkeit mit $80,1 \pm 15,9\%$ bei diesem Gasmisch zu gering. Da wie schon beschrieben, die Ansprech-

wahrscheinlichkeit im Bereich von 95 % oder höher liegen muss, um möglichst jedes Ereignis auswerten zu können. Dieses Gasgemisch kann für spätere Experimente nicht genutzt werden.

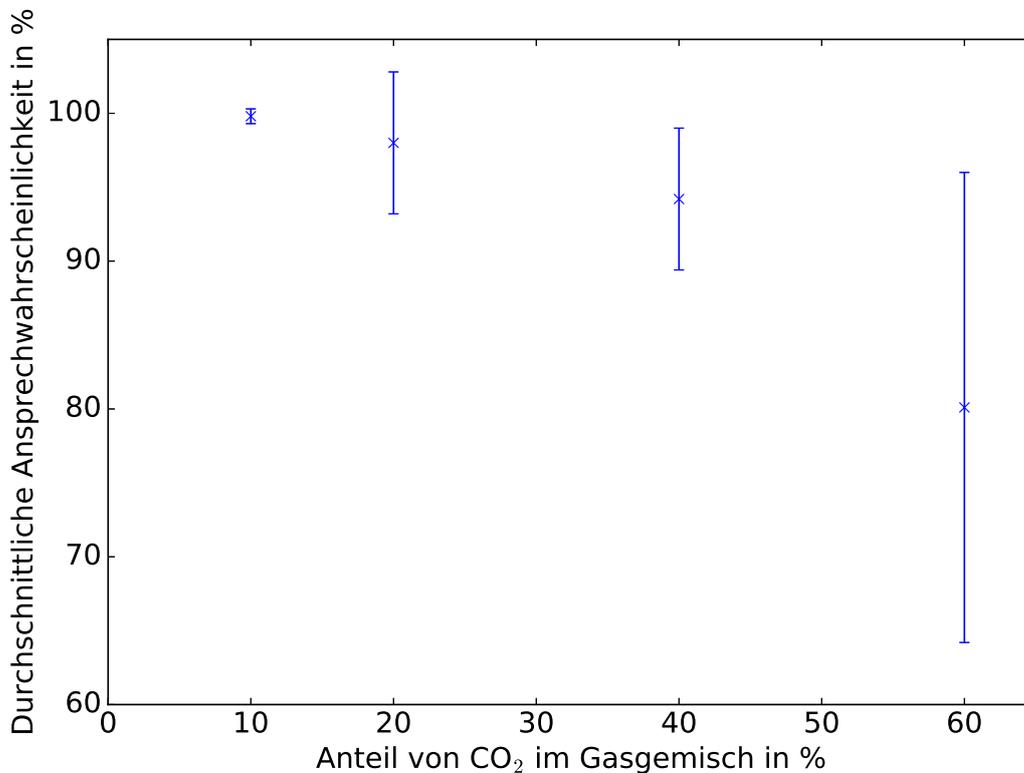


Abbildung 4.18.: Mit den Gasgemischungen mit geringem CO₂-Gehalt kann man höhere Ansprechwahrscheinlichkeiten erreichen. Bei einem Gehalt von 20 % ergibt sich eine Wahrscheinlichkeit von $98,0 \pm 4,8$ %, bei 10 % CO₂ sogar $99,8 \pm 0,5$ %.

Bei Gasgemischen mit geringem CO₂-Anteil zeigt sich eine große Verbesserung in der durchschnittlichen Ansprechwahrscheinlichkeit. Bei einem Anteil von 20 % zeigt sich eine Wahrscheinlichkeit von $98,0 \pm 4,8$ %, bei 10 % CO₂ sogar $99,8 \pm 0,5$ % (siehe Abb. 4.18). Beide Gasgemischungen kommen in Frage, um sie in späteren Experimenten einzusetzen. Es müssen allerdings noch weitere Auswertungen der Zeitauflösung und Driftzeit-Weg-Verhältnisse vorgenommen werden, um mit Sicherheit sagen zu können, welches und ob man eines der beiden verwenden kann.

4.6 Probleme beim Messaufbau

Das Signal, welches in Abb.4.19 zu sehen ist, wurde nach einem Vorverstärker aufgenommen, während die Kammer unter Hochspannung steht und eine ⁹⁰Sr Quelle über der Kammer angebracht ist. Es ist etwas mehr als 100 mV stark und circa 20 ns lang. Nachdem das Labor eingerichtet und die Elektronik für die Vorverstärkerversorgung von der Elektronikwerkstatt fertiggestellt war, wurden erste Testmessungen mit der Driftkammer vorgenommen. Hierzu wurden die Vorverstärker zwar unter Spannung gesetzt, aber keine Hochspannung an die Driftkammer selbst angelegt.

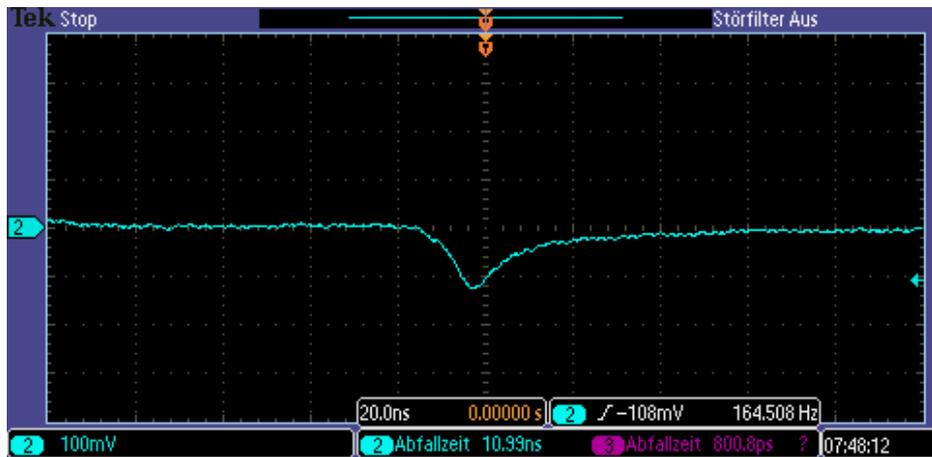


Abbildung 4.19.: Das Signal, das die Vorverstärker ausgeben, wenn die Kammer unter Hochspannung steht und eine ^{90}Sr Quelle über der Kammer angebracht wird, sind etwas mehr als 100 mV stark und circa 20 ns lang.

Notausgangsschild und Notfall LEDs eingeschaltet

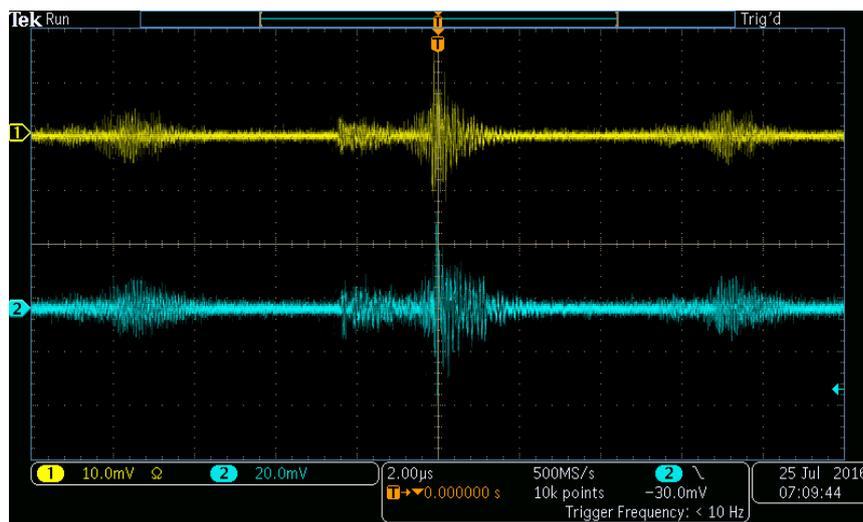


Abbildung 4.20.: Signale einer einfachen Antenne angeschlossen an das Oszilloskop (gelbe Signale) und Signale nach den Vorverstärkern der Driftkammer (blaue Signale)

Hierbei ist aufgefallen, dass man dauerhaft ein Signal auf der Kammer sieht, welches eine Amplitude größer 40 mV nach den Vorverstärkern hatte und mit einer Frequenz von ungefähr 140 kHz auftritt (siehe Abb. 4.20). Die Vorverstärker sind darauf ausgelegt, Signale, die durch Elektronen in der Kammer entstehen auf um 100 mV zu verstärken, konnte man mit diesem Störsignal keine Testmessungen mit der Kammer vornehmen, da keine sinnvolle Schwelle in der Ausleselektronik gesetzt werden kann.

Um das Störsignal zu identifizieren, wurden mehrere Versuche gestartet. Zunächst wurde in den umgebenden Laboren nach Störquellen gesucht. Hierfür wurde ein Oszilloskop benutzt, an welchem ein einfacher langer Draht, ähnlich den in der Driftkammer gespannten Drähten, angeschlossen wurde. Dabei ist festgestellt worden, dass in den angrenzenden Laboren das Signal nicht erfasst werden kann. Diese Art der Messung wurden ebenfalls in benachbarten Räumen im Erdgeschoss durchgeführt sowie in verschiedenen Bereichen des gesamten Kellers. Das Signal konnte aber auch dort nicht festgestellt werden.

Auf einen Hinweis der Betriebsgruppe sollten bei der nächsten Messung nach und nach alle Sicherungen des Raumes während der Messung ausgeschaltet werden, um zu sehen, ob und wann die Störung verschwindet. Hierbei wurde ein batteriebetriebenes Oszilloskop mit ebenfalls einem langen Draht als Antenne genutzt. Als die Sicherung des Notausgangsschildes herausgenommen wurde, ist das Signal verschwunden (siehe Abb. 4.22). Es hat sich gezeigt, dass das Schaltnetzteil, welches im Schild verbaut ist, die Störungen verursacht hat und diese dann von der Driftkammer verstärkt wurden.

Notausgangsschild eingeschaltet und Notfall LEDs ausgeschaltet

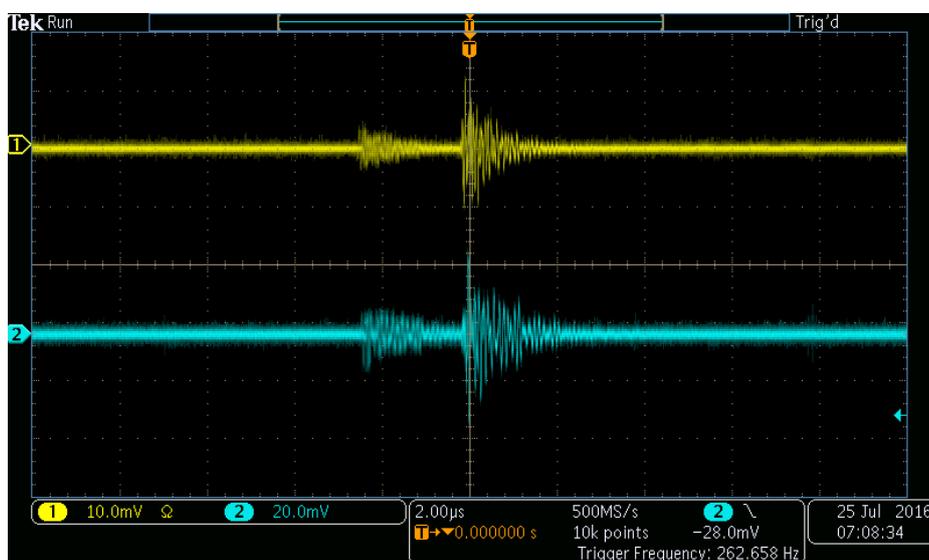


Abbildung 4.21.: Signale einer einfachen Antenne angeschlossen an das Oszilloskop (gelbe Signale) und Signale nach den Vorverstärkern der Driftkammer (blaue Signale)

Wie sich im weiteren Verlauf der Untersuchungen herausstellte, sind ebenfalls die Notfall-LEDs eine Störquelle (siehe Abb. 4.21), sowie auch die von der Elektronikwerkstatt gefertigte Spannungsversorgung der Vorverstärker. Es wurde abgesprochen, dass das Notausgangsschild, sowie auch die Notfall-LEDs ausgetauscht werden und dass die Spannungsversorgung mit einem Linearnetzteil ausgestattet wird, sodass diese keine Störungen mehr in die Driftkammer einspeisen. Nachdem die Störquellen vom Strom genommen wurden und die alte Span-

Ohne Notausgangsschild und Notfall LEDs

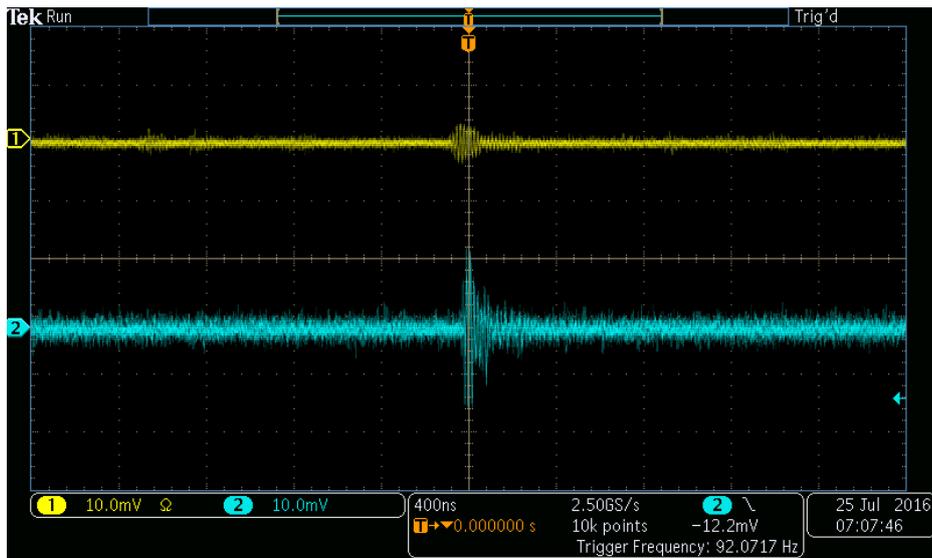


Abbildung 4.22.: Signale einer einfachen Antenne angeschlossen an das Oszilloskop (gelbe Signale) und Signale nach den Vorverstärkern der Driftkammer (blaube Signale)

nungsversorgung der Vorverstärker an die Kammer angeschlossen wurden hat sich gezeigt, dass zwar immer noch Störsignale von der Driftkammer verstärkt werden, diese aber mit einer Amplitude von weniger 16mV verhältnismäßig klein sind. Insbesondere verringert sich deren Frequenz auf unter 100Hz. Im Zuge der Fehlersuche hat sich herausgestellt, dass es für spätere Experiment am QCLAM sehr wichtig sein wird, alle Geräte und die Driftkammer selbst auf dasselbe Potential zu legen.

Alles bis auf das Oszilloskop ausgeschaltet

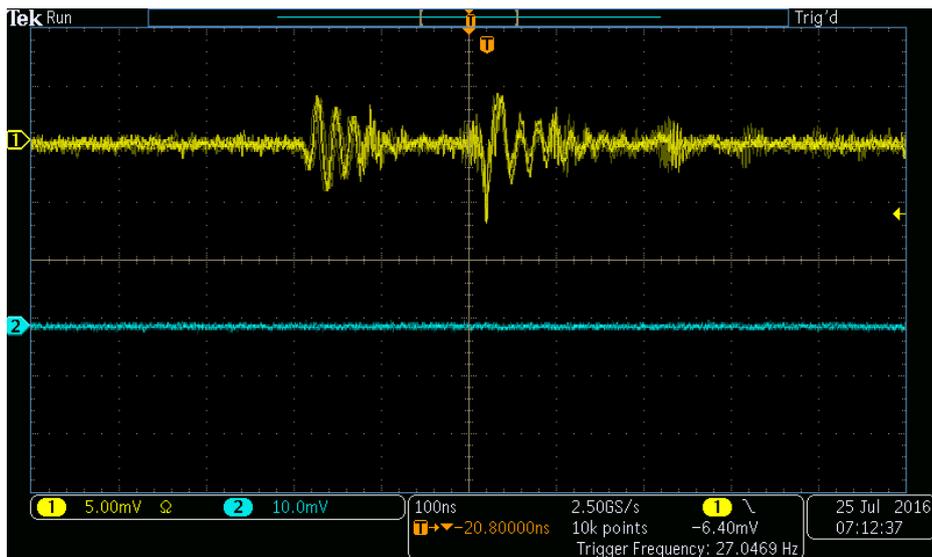


Abbildung 4.23.: Signale einer einfachen Antenne angeschlossen an das Oszilloskop. Antenne in die Nähe des Netzteils gebracht (gelbe Signale). Driftkammer ohne Spannung an Vorverstärkern (blaube Signale)

Auch schon ohne die Fehlerquellen vom Netz zu nehmen, hat man eine deutliche Reduzierung der Störsignale feststellen können, wenn eine sternförmige Erdung an allen Gerätschaften angeschlossen wurde. Die Signale, die auch ohne Notausgangsschild und Notfallbeleuchtung zu sehen sind, kommen vermutlich vom Schaltnetzteil des Oszilloskops selbst. Wenn die Driftkammern wieder am QCLAM-Spektrometer angebracht sind, muss für spätere Experimente dringend untersucht werden, ob die Driftkammern innerhalb der Abschirmung (siehe Abb. 2.1) Störsignale aus der Umgebung empfangen und ob diese die Messungen negativ beeinflussen.

An dieser Stelle möchte ich ein Zitat aus einer vorangegangenen Arbeit, welche sich ebenfalls mit Tests an den QLCAM-Driftkammern beschäftigt, anbringen, da es die Zeit der Messungen sehr gut beschreibt.

„Als Hauptschwierigkeit erwies sich der hohe elektrische Störpegel [...] und die Verkopplung der Erdpunkte von [...] Detektoreinheit, Rechner und Trigger [...] Eine Reduzierung dieser Störungen um mehrere Größenordnungen war daher eine der zeitaufwendigsten Arbeiten während den Testmessungen.“ [31]

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Auswerteroutinen für die Ansprechwahrscheinlichkeiten der Drähte der Driftkammern, sowie die für die Driftzeiten entwickelt. Mit Testmessungen der im QCLAM eingebauten Driftkammern ist ihre Funktionalität getestet worden. Hierbei hat man festgestellt, dass die Driftkammern mit einer Spannung von circa 5,5 kV und einem Argon-Isobutan-Gemisch im Verhältnis 40:60 betrieben werden können.

Die Labor-Tests mit Isobutan haben gezeigt, dass die Kammern eine hohe Ansprechwahrscheinlichkeit von $\approx 95\%$ pro Draht bei einer angelegten Spannung von 4850 V haben und somit mehr als 97% aller Ereignisse auch in Elektronentrajektorien zurückgerechnet werden können. Wie sich herausstellte, benötigen die Messungen zum Testen der Ansprechwahrscheinlichkeiten und der Driftzeiten mehr Zeit, als zunächst angenommen. Um ausreichend viele Ereignisse aufnehmen zu können, sodass für die Bestimmung der Driftzeit-Weg-Abhängigkeit genügend Statistik vorliegt, müssen mindestens 6 Stunden Messzeit eingeplant werden.

Die Messungen mit CO_2 anstatt Isobutan haben gezeigt, dass im Bereich von 10% bis 20% Anteil Kohlendioxid in der Gasmischung Ansprechwahrscheinlichkeiten pro Draht von 98% und höher erreichbar sind. In weiteren Untersuchungen sind nun die Driftzeit-Weg-Verhältnisse zu untersuchen, sowie die Zeitauflösung der Kammer mit den Gasgemischen zu bestimmen. Sollte die Zeitauflösung im Bereich von 2 ns liegen, ist es möglich die Driftkammern des QCLAM-Spektrometers mit einer Argon- CO_2 -Mischung zu betreiben.

Literaturverzeichnis

- [1] Homepage des Instituts für Kernphysik der TU Darmstadt zum S-DALINAC. (23.02.2016; 10:50). http://www.ikp.tu-darmstadt.de/sdalinac_ikp/
- [2] Artikel zu Umbauarbeiten am S-DALINAC. (23.02.2016; 10:55). http://www.tu-darmstadt.de/vorbeischauen/aktuell/einzelansicht_134016.de.jsp
- [3] FRITZSCHE, Yuliya: *Aufbau und Inbetriebnahme einer Quelle polarisierter Elektronen am supraleitenden Darmstädter Elektronenlinearbeschleuniger S-DALINAC*, TU Darmstadt, Dissertation, (2011)
- [4] SONNABEND, K. u. a.: The Darmstadt High-Intensity Photon Setup (DHIPS) at the S-DALINAC. In: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 640 (2011), Nr. 1, 6 - 12. <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2011.02.107>. – DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2011.02.107>. – ISSN 0168–9002
- [5] ARNOLD, Michaela: *Institut für Kernphysik der TU Darmstadt, Dissertation in Vorbereitung, Schematische Zeichnung des S-DALINAC, Stand Dezember 2015*
- [6] LENHARDT, Alexander W.: *Entwicklung eines Si-Mirkostreifendetektors für das 169°-Spektrometer am S-DALINAC*, TU Darmstadt, Dissertation, (2004)
- [7] KNIRSCH, Martin: *Konzeption, Aufbau und Erprobung eines hochauflösenden QCLAM-Elektronenspektrometers mit großem Raumwinkel und hoher Impulsakzeptanz am Elektronenbeschleuniger S-DALINAC*, TU Darmstadt (1991), Diss.
- [8] REITZ, B.: *Weiterentwicklung des Detektorsystems am QCLAM-Spektrometer des S-DALINAC und Untersuchung der Reaktionen $^{48}\text{Ca}(e, e')$ und $^{58}\text{Ni}(e, e')$ unter 180°* , TU Darmstadt, Dissertation, (2000)
- [9] RYEZAYEVA, Natalya: *Search for the $p_{\frac{1}{2}}$ -Resonance in ^7He with the $^7\text{Li}(d, ^2\text{He})$ Reaction and Measurement of the Deuteron Electrodissintegration under 180° at the S-DALINAC*, Technische Universität Darmstadt, Dissertation, (2006)
- [10] Zusammenfassung des Sonderforschungsbereich-1245. (24.02.2016; 16:50). <http://www.sfb1245.tu-darmstadt.de/>
- [11] BLUM, Walter ; ROLANDI, Luigi: *Particle Detection with Drift Chambers*. Berlin Heidelberg : Springer Science & Business Media, (1993)
- [12] HUK, M; IGO-KEMENES, P u. a.: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **267** (1988) 107-119
- [13] SAULI, F: Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers. In: *Lectures given in the academic training programme of CERN* (1975-1976)

-
- [14] AIR LIQUIDE Deutschland GmbH. (23.02.2016; 16:40). <http://www.airliquide.de/loesungen/produkte/gase/gasekatalog/stoffe/kohlendioxidn48.html#.Vsx9lkKLe1M>
- [15] D'ALESSIO, Antonio: *Effizienzmessung von Vieldraht-Driftkammern für unterschiedliche Gas-mischungen am QCLAM Spektrometer; Master-Proposal, (2016)*
- [16] BASSAUER, S.: *Aufbau und Test der Elektronik für ein Elektronenstreukoinzidenzexperiment und Vergleich der Photoabsorptionsquerschnitte in relativistischer Protonenstreuung mit elektromagnetischen Proben.* Technische Universität Darmstadt, Masterarbeit, (2014)
- [17] CHARPAK, G. ; BOUCLIER, R: Nuclear Instruments and Methods **62**, Issue 3, (1968) 262-268
- [18] VEENHOF, Rob: (09.02.2016; 18:59). <http://garfield.web.cern.ch/garfield>
- [19] GRUPEN, Claus: *Teilchendetektoren.* Mannheim : BI-Wiss.-Verlag, (1993)
- [20] SITAR, B.; MERSON, G. I. u. a.: *Ionization Measurements - In High Energy Physics.* Bd. 124. Rev. and enlarged English ed. Berlin Heidelberg New York : Springer-Verlag, (1993)
- [21] HUMMEL, K.-D.: *Entwicklung, Aufbau und Inbetriebnahme eines Vieldrahtdriftkammer-Detektorsystems für das QCLAM-Spektrometer am supraleitenden Darmstädter Elektronenbeschleuniger S-DALINAC,* Technische Universität Darmstadt, Dissertation, (1992)
- [22] ELB-Elektroniklaboratorien Bonn UG . (07.02.2016; 14:40). <http://www.elbonn.de/cms/item.php?theme=elb-vme-vfb6&language=en>
- [23] GSI ENV3 Module Manual, GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung. (07.02.2016; 14:40). https://www.gsi.de/de/work/fairgsi/rare_isotope_beams/electronics/digitalelektronik/digitalelektronik/module/vme/env/env3.htm
- [24] GSI VULOM4B Module Manual, GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung. (07.02.2016; 14:40). https://www.gsi.de/de/work/fairgsi/rare_isotope_beams/electronics/digitalelektronik/digitalelektronik/module/vme/vulom/vulom4b.htm
- [25] GSI TRIVA7 Module Manual, GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung. (07.02.2016; 14:40). https://www.gsi.de/de/work/fairgsi/rare_isotope_beams/electronics/digitalelektronik/digitalelektronik/module/vme/triva/triva7.htm
- [26] UWE BONNES, Dipl.-Ing.(TU): Elektronikwerkstatt, IKP TU Darmstadt.
- [27] MKS Technology for Productivity. (09.02.2016; 13:53). <http://www.mksinst.com/product/Product.aspx?ProductID=71>
- [28] SIMONIS, Johannes: Monitoring des Gasflusses am QCLAM-Spektrometer. In: *Miniforschung* (2010)
- [29] ZHAO, T; CHEN, Y. u. a.: A study of electron drift velocity in Ar-CO₂ and Ar-CO₂-CF₄ gas mixtures. In: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 340 (1994) 485-490 North-Holland* (1993)

-
- [30] NEVELING, R.; SMIT, F.D. u. a.: Guide to the K600 magnetic spectrometer. (2016)
- [31] KÜCHLER, Gunter: *Untersuchung von Linienform und Anregungsstärke des $J^\pi = 1/2^+$ Zustands bei $E_x = 1.684$ MeV in ${}^9\text{Be}$ mit unelastischer elektronen- und Protonenstreuung und Aufbau und Test einer Vieldraht-Driftkammern für die Fokalebene des Elektronen Spektrometers*, TU Darmstadt, Dissertation (1986)

Danksagung

Als erstes möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Peter von Neumann-Cosel für die Bereitstellung eines so interessanten Themas und die Aufnahme in die Arbeitsgruppe bedanken.

Ich bedanke mich bei meinem Betreuer Maxim Singer, ohne seine Vorarbeit in der Programmierung der Auslese der Elektronik wäre die Arbeit so nicht zustande gekommen. Weiterhin bedanke ich mich für die sehr anregenden Diskussionen mit ihm, die die Arbeit immer ein Stück weitergebracht haben.

Ebenfalls bedanke ich mich bei Sergej Bassauer, der immer ein offenes Ohr hatte, wenn mal wieder Probleme beim Programmieren aufgetreten sind und meist schnell eine Lösung parat hatte.

Auch will ich mich bei meiner Arbeitsgruppe für die gute Arbeitsatmosphäre bedanken.

Schließlich noch ein Dankeschön an meine Familie und Freunde, die mich während meiner Arbeit immer unterstützt haben.

A Ansprechwahrscheinlichkeiten für CO₂

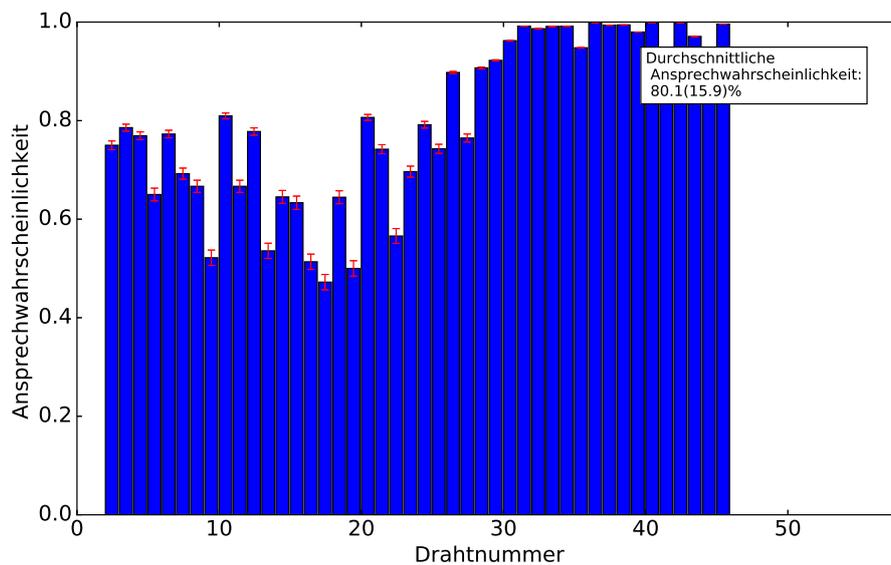


Abbildung A.1.: Bei einem Argon-CO₂-Gemisch im Verhältnis 40:60 wird eine durchschnittliche Ansprechwahrscheinlichkeit von 80,1 ± 15,9 % erreicht.

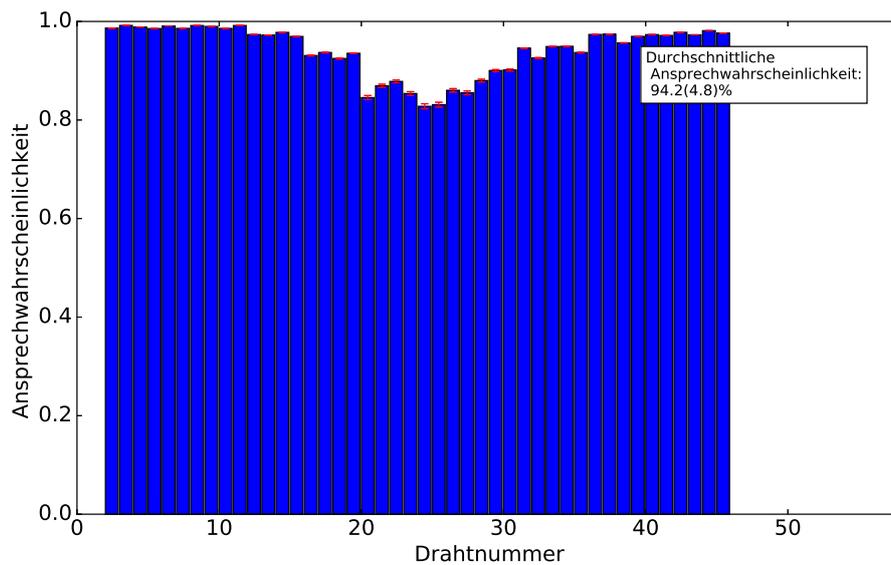


Abbildung A.2.: Bei einem Argon-CO₂-Gemisch im Verhältnis 60:40 wird eine durchschnittliche Ansprechwahrscheinlichkeit von 94,2 ± 4,8 % erreicht.

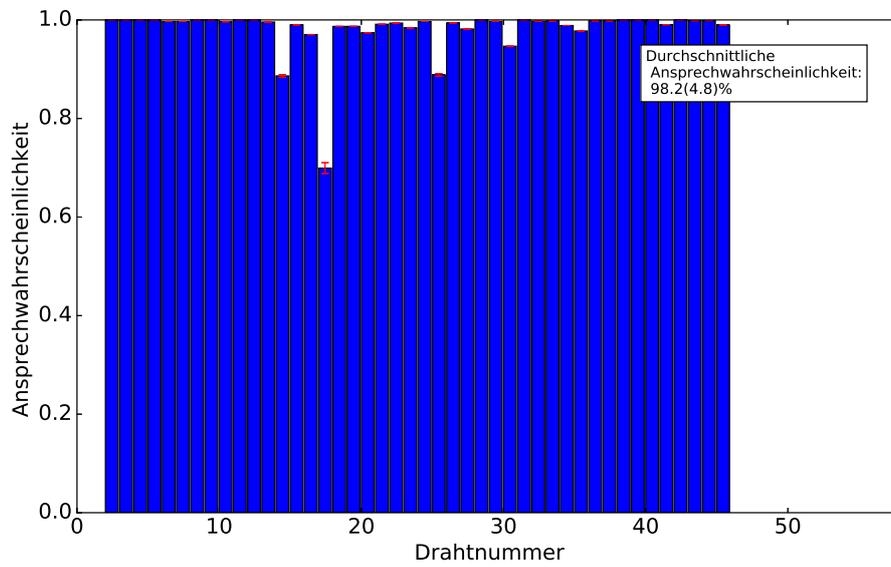


Abbildung A.3.: Bei einem Argon-CO₂-Gemisch im Verhältnis 80:20 wird eine durchschnittliche Ansprechwahrscheinlichkeit von $98,0 \pm 4,8$ % erreicht.

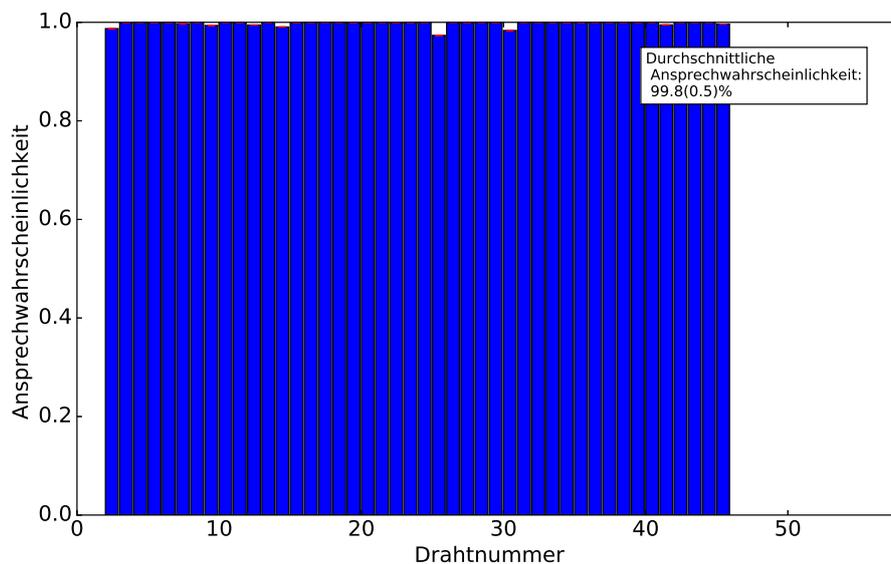


Abbildung A.4.: Bei einem Argon-CO₂-Gemisch im Verhältnis 90:10 wird eine durchschnittliche Ansprechwahrscheinlichkeit von $99,8 \pm 0,5$ % erreicht.

B Python-Code zur Auswertung der Ansprechwahrscheinlichkeit

```
# coding: utf-8

# In[1]:

#!/usr/bin/python3.4

# In[2]:

def getBlock(f):
    block = [] # Erste Zeile überlesen hier nur Eventnummer.
               #Kommt durch Counter wieder rein.
    f.readline() # Eventnummer auslassen
    block.append(f.readline().strip()) #Szinttilatorzeiten
    block.append(f.readline().strip()) #X1 Eben wird ausgelesen
    block.append(f.readline().strip()) #U Eben wird ausgelesen
    block.append(f.readline().strip()) #X2 Eben wird ausgelesen
    return block

# In[3]:

def extractWireLines(block): #Zeilen mit Drahtnummern auslesen
    tmp = []
    tmp.append(lineWireExtract(block[1]))#X1 Drahtnummern und Zeiten
    tmp.append(lineWireExtract(block[2]))#U Drahtnummern und Zeiten
    tmp.append(lineWireExtract(block[3]))#X2 Drahtnummern und Zeiten
    return tmp

# In[4]:

def extractTimes(block): #Zeilen mit Drahtnummern auslesen
    tim = []
    length = len(block) #Länge des oben gemachten Blocks wird ausgelesen
    tim.append(driftTimes(block[1]))#Es wird ab dem Zweite Element ausgelesen.
    tim.append(driftTimes(block[2]))#Das erste wären die Szintilatorzeiten.
    tim.append(driftTimes(block[3]))
    return tim

# In[5]:

def lineWireExtract(line): #Drahtnummern aus Zeilen aussortieren.
    temp = []
```

```
splittedLine = line.split() #An den Leerzeichen wir Zeile gesplittet.
length = len(splittedLine)
for x in range(0, length - 1, 2): #jeds zweite Element ist Drahtnummer
    temp.append(int(splittedLine[x]))#Drahtnummern schreiben.
return temp
```

```
# In[6]:
```

```
def driftTimes(line): #Zeiten aus Zeilen aussortieren.
    splittedLines = line.split() #An den Leerzeichen wir Zeile gesplittet.
    length = len(splittedLines)
# In [ ]:
    for x in range(0, length-1,2): #jede zweite Element ist eine Zeit
        drifttimesList[int(splittedLines[x])-1].append(float(splittedLines[x+1]))
        #Zeit als Float schreiben.
    return drifttimesList
```

```
# In[7]:
```

```
# Mit dieser Funktion werden die Zeiten gerundet, damit sie besser verarbeitet
#werden können
```

```
def roundingTimes(array, array1):
    for x in range(0,319):
        array1[x] = np.append(array1[x], np.round(array[x]))
```

```
# In[8]:
```

```
# Es werden die gerundeten Driftzeiten übergeben und der Draht für den die
# Driftzeitverteilung erstellt werden soll.
```

```
def timesHist(array, Hist, Drahtnummer):
    drahtDriftzeiten = array[Drahtnummer-1]
    length = len(drahtDriftzeiten)

    for x in range(0,length):
        if drahtDriftzeiten[x] < 500: #Maximale Driftzeit <500ns
            a= int(array[Drahtnummer-1][x])
            Hist[a] = Hist[a] + 1#Es wird eine Histogrammdatei erstellt, die später
            geplottet werden kann.
    return Hist
```

```
# In[9]:
```

```
def effizienz(array, result, result1):
    fiveWires = 0 #Setze Anzahl an Fünfer- und Viererzellen 0
    fourWires = 0
    lan = len(array) #Anzahl der Übergebenen Drahtnummern erkennen
    borderLeft = 2
    '''Größe der zu überprüfenden Zellen 2 bedeutet, dass man
    insgesamt 2 Drähte nach links geht'''
    borderRight = 4
    '''4 bedeutet, dass man 2 Drähte nach rechts geht, also
```

```

insgesamt eine Fünferzelle '''
'''Wenn weniger als 4 Drähte angesprochen wurden,
muss die Zelle nicht untersucht werden'''
if array == [] or lan < 4:
    begin = 0
# In[ ]:
    end = 0
else:
    begin = array[0]-2
    end = array[lan-1]+2
'''Um zu beschleunigen, werden nur die Drahtnummern
von minimalen zum maximalen des Arrays untersucht '''

for x in range(begin, end, 1):
    '''Wenn 2, dann wird nur jeder zweite Draht überprüft.
Mit neuen Vorverstärkern 1 setzen.
Alle Drahtnummern innerhalb
# In[ ]:
des übergebenen Arrays anschauen'''
    active_wires_left = 0 #Aktive Drähte 0 setzen
    active_wires_right = 0
    for i in range(max(0, x-borderLeft), x):
        '''Anschauen ob links vom untersuchten Draht
Drähte angesprochen wurde'''
        if i in array:
            active_wires_left = active_wires_left + 1
            '''Falls ein Draht angesprochen wurde erhöhen'''
            '''Wie oben nur rechts'''
    for j in range(x+1, min(319, x+borderRight+1)):
        if j in array:
            active_wires_right = active_wires_right + 1
    if (active_wires_left == borderLeft/2 and active_wires_right ==
borderRight/2 and x in array):
        fiveWires = fiveWires + 1
        result1[x] = result1[x] + 1
        '''#Falls 5 Drähte in der Zelle liegen dann hochzählen'''
    elif (active_wires_left == borderLeft/2 and active_wires_right ==
borderRight/2 and x not in array):
        fourWires = fourWires + 1
        result1[x+320] = result1[x+320] + 1
        '''Falls 4 Drähte in der
Zelle liegen, mit genau einer Lücke in der Mitte dann hochzählen.
Und zwar 320 Array Einträge
weiter, damit sich die 4er und 5er nicht in die Quere kommen'''
    result[0] = result[0] + fiveWires #Rückgabe der Werte
    result[1] = result[1] + fourWires

# In[10]:

def singleData(array, histData, name):
    n_groups = 48 #Anzahl der Drähte die Beachtet werden solle.
    error = np.array([]) #Vektor für die Fehler wird generiert
    for x in range(0, n_groups):

```

```

if array[x] == 0 and array[x+320] == 0: #Wenn bei diesem Draht kein
    Ereignis auswertbar war, dann ist die
    histData = np.append(histData,0) #Ansprechwahrscheinlichkeit
    ebenfalls 0
    error = np.append(error,0) #Wenn keine Ereignisse vorhanden
    sind, dann ist auch keine Unsicherheit
else: #vorhanden
    histData = np.append(histData,[array[x]/(array[x]+array[x+320])])
    error = np.append(error,(((array[x+320]*array[x]**1/2)/(array[x]+array
    [x+320])**2)**2+((array[x]*array[x+320]**1/2)/(array[x]+array[x
    +320])**2)**2)**1/2)
# Wenn auswertbare Ereignisse in einem Draht vorliegen, dann müssen diese
    durch die Gesamtanzahl der Ereignisse
#in diesem Draht geteilt werden, um die Ansprechwahrscheinlichkeit zu erhalten
.
#Aus dieser Gleichung und der Gauss'schen Fehlerfortpflanzung ergibt sich die
    Berechnungsvorschrift für die
#Unsicherheiten. Es wird sqrt(N) als Unsicherheit für den Draht angenommen.
gesamterror = sum([(i)**2 for i in error])**1/2/len(error)*100 #
    Gesamtunsicherheit aus allen Unsicherheiten errechnet
last_name = slice(-8, -4) #Benennung des Plots mit Dateinamen, damit klar ist,
    wo er dazugehört

Summe = 0
for x in range(0,n_groups):
    if histData[x] != 0:
        Summe += 1
average = 100*sum(histData)/Summe #Durchschnittliche
    Ansprechwahrscheinlichkeit

index = np.arange(0,n_groups) #Parameter des Histogramms
bar_width = 0.9
opacity = 1

if name=='X1':
    plt.bar(index , histData , bar_width ,color='b',alpha = opacity , label= '%s
    -Ebene' %(name) ,yerr = error ,ecolor='r')
''' if name=='X2':
    plt.bar(index , histData , bar_width , color='r', alpha=opacity, label='%s-
    Ebene'%(name), yerr = error, ecolor = 'r')
if name=='U':
    plt.bar(index , histData , bar_width , color='g', alpha=opacity, label='%s-
    Ebene'%(name), yerr = error, ecolor = 'r')'''
#Wenn alle 3 Ebenen geprüft werden sollen, müssen die auskommentierten Zeilen
    eingebunden werden.
plt.xlabel('Drahtnummer')
plt.ylabel('Ansprechwahrscheinlichkeit_')
plt.text(45,0.85,"Durchschnittliche\nAnsprechwahrscheinlichkeit:\n_%.1f(%%.1f)
    _%%"
    % (average , gesamterror) ,bbox=dict(facecolor='white' , alpha=1))
plt.ylim(0,1)
plt.xlim(0,n_groups+10)
#Der Speicherort muss dem eigenen System angepasst werden. Der Ordner muss
    schon vorhanden sein, sonst
#kann man die Datei nicht schreiben

```

```

plt.savefig("../Driftkammer_test/co2/Ansprechwahrscheinlichkeit/%s%s.eps" % (
    file[last_name],name) )
plt.cla() # Clear axis
plt.clf() # Clear figure
plt.close() # Close a figure window
#Hiermit wird das Plotfenster für den nächsten Plot zurückgesetzt

```

In[11]:

```

def timeplot(array,name): #Die oben ausgewerteten Driftzeitverteilungen werden in
ein Histogramm geschrieben.
x = range(len(array))
last_name = slice(-8, -4)
plt.xlabel("Driftzeit_in_ns")
plt.ylabel("Counts")
plt.xlim(0,500)#Die obere Grenze muss passend zu der maximalen Driftzeit geä
ndert werden.
plt.plot(x,array,color='b')
plt.fill_between(x, 0, array, color='b', alpha=0.5)
#Speicherpfad anpassen. Ordner muss existieren, damit geschrieben werden kann.
plt.savefig("../Driftkammer_test/co2/Driftzeiten/%s%s.eps" % (file[last_name],
name) )
plt.cla() # Clear axis
plt.clf() # Clear figure
plt.close() # Close a figure window
#Hiermit wird das Plotfenster für den nächsten Plot zurückgesetzt

```

In[14]:

```

import re,sys,array,itertools #Benötigte Pakete, um Skript auszuführen
import numpy as np
import glob
import matplotlib.pyplot as plt
#Die Plotgröße und die darin enthaltene Schriftgröße werden festgesetzt. Kann
man beliebig ändern.
params = {'legend.fontsize': 'large',
'figure.figsize': (10, 5),
'axes.labelsize': 'x-large',
'axes.titlesize': 'x-large',
'xtick.labelsize': 'x-large',
'ytick.labelsize': 'x-large'}
plt.rcParams.update(params)

# Ab hier sind es Größen, die für später definiert sein müssen. NICHTS VERÄNDERN
active_wires_left = 0
active_wires_right = 0
begin = 0
end = 0
resultWireX2 = np.zeros(640)
resultWireX1 = np.zeros(640)
resultWireU = np.zeros(640)
effiX1 = [0,0]

```

```

effiU = [0,0]
effiX2 = [0,0]
histDataX1 = np.array([], dtype=int)
histDataU = np.array([], dtype=int)
histDataX2 = np.array([], dtype=int)
timesround = [[] for _ in range(320)]
Drift_integral = np.array([])
np.array(timesround, dtype=int)
drifftimesList = [[] for _ in range(320)] #Driftzeiten nach Draht sortiert
driftHist = np.zeros(500)

#Txt Datei, die zur Auswertung eingelesen werden muss.
for file in glob.glob('/home/antonio/Arbeitsfläche/Daten.txt/tests_0079.txt'): #
    Das auf QclaMon geholte .txt file einbinden
    f = open(file)
    eventId = 0
    while(True): #Solange es Zeilen gibt, schnapp sich das Programm den nächsten
        vierer Block
    #Dieser besteht aus Szintillatorzeiten, Daten X1, U, X2.
        block = getBlock(f)
        if (block[0] == ''): #Falls keine Zeilen mehr übrig, dann break.
            break;

        eventId = eventId + 1 #Eventnummer auf 0 setzen, damit man später weiß,
            wieviele Trigger insgesamt vorhanden waren.
        if eventId % 500000 == 0: #Damit man zwischendrin eine Ausgabe bekommt und
            weiß es läuft noch
            print(eventId)
        numbers = extractWireLines(block) #Funktionen von oben einbinden.
        times = extractTimes(block)

        effizienz(numbers[0], effiX1, resultWireX1)
        #effizienz(numbers[1], effiU, resultWireU) #Falls alle Ebenen ausgewertet
            werden sollen, dann Zeilen einbinden
        #effizienz(numbers[2], effiX2, resultWireX2)
    plt.cla() # Clear axis
    plt.clf() # Clear figure
    plt.close() # Close a figure window
    singleData(resultWireX1, histDataX1, 'X1') #Hier wird die eigentl Effizienz mit
        Fehler berechnet
    #singleData(resultWireX2, histDataX2, 'X2')
    #singleData(resultWireU, histDataU, 'U')
    roundingTimes(times[1], timesround) #Funktionen aufrufen.
    timesHist(timesround, driftHist, 21)
    timeplot(driftHist, 'Test')
    plt.cla()
    plt.clf()
    plt.close() # Der Plot wird auf Anfang gesetzt, damit auch neues geplottet
        werden kann
    driftHist_k = np.array([]) #Ab hier nimmt man die Driftzeitverteilung und
        invertiert sie
    for i in range(0, len(driftHist)):
        driftHist_k = np.append(driftHist_k, driftHist[len(driftHist)-1-i])
    intSum = 0

```

```
for i in range(0,len(driftHist_k)): #Hier wird die Driftzeitverteilung
    Integriert.
    intSum += driftHist_k[i]          #Mann kann die letzten beiden Befehle
        auskommentieren, wenn man es nicht braucht
    Drift_integral = np.append(Drift_integral ,intSum)

f.close()
```