Fakultät für Physik und Astronomie

Ruprecht–Karls–Universität Heidelberg

Staatsexamensarbeit
im Studiengang Physik

vorgelegt von
Joachim Selke
aus Ganderkesee

September 1994

Experimentelle Untersuchungen von Alterungseffekten in Zählrohren mit verschiedenen Driftgasen

Die Staatsexamensarbeit wurde von Joachim Selke ausgeführt am
I. Physikalischen Institut
unter der Betreuung von Prof. F. Eisele

Ich versichere, daß ich diese Arbeit selbständig verfaßt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Heidelberg, den 16. Dezember 1994

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **3**

2 Proportionalzählrohre **4**
2.1 Prinzip des Proportionalzählrohres 4
2.2 Signalentstehung 9

3 Alterung **12**
3.1 Einführung 12
3.2 Plasmachemie 14
3.3 Beobachtete Alterungseffekte 15
3.3.1 Modell der Elektrodenummantelung 16
3.3.2 Malter–Effekt 17
3.4 Parameter für den Kammerbau und ihre Auswirkungen 19
3.4.1 Gaswahl 19
3.4.2 Gute Additive zum Zählgas 20
3.4.3 Schlechte Additive zum Zählgas 21
3.4.4 Gasschläuche 23

4 Aufbau des Meßstandes **24**
4.1 Gesamtaufbau 24
4.2 Aufbau der Zählrohre 24
4.3 Gassystem 27
4.4 Auslese der Zählrohre 27
4.4.1 Gasverstärkung 27
4.4.2 Stromessung 29
4.5 Trigger 30
4.6 Probleme bei dem Aufbau und bei der Inbetriebnahme des Teststandes 31
4.6.1 Eliminierung von äußeren Störsignalen 31
4.6.2 Gasfluß 33

5 Prinzip der Messung von Alterungseffekten **34**
5.1 Meßprinzip der Gasverstärkung 34
5.2 Meßanordung und Meßprinzip zur Strommessung 36
5.3 Stabilitäts– und Eichmessungen 37
5.4 Meßablauf 39
5.4.1 Ladungs– und Pulshöhenmessung 41
5.4.2 Strommessung 42

6 Gase und Erste Ergebnisse **43**
6.1 Argon/Methan (90%/10%) 43
6.2 Argon/Isobutan/Ammoniak (92,5%/5%/2,5%) 43
6.3 Erste Meßergebnisse 45
6.3.1 Gasverstärkung 45

6.3.2 Strommesseung 49
6.4 Zusammenfassung 49

7 Abschlußbemerkung **53**
7.1 Diskussion der Ergebnisse 53
7.2 Ausblick 53

1 Einleitung

Zu Beginn dieser Arbeit stellt sich die Frage: Warum müssen Alterungstests gemacht werden? Die Antwort liegt in den ablaufenden Prozessen während der Lawinenbildung in Proportionalzählrohren, MWPCs (Multiwire Proportional Camber) und Driftkammern begründet.

Die Lawinenbildung kann als Mikroplasma verstanden werden. In dem die Driftgase und die Verunreinigungen, die sich innerhalb des aktiven Volumens befinden, zersetzt werden. Bei dem Vorgang entstehen chemisch sehr aktive Molekülfragmente, die sich zu längeren Molekülketten verbinden und polymerisieren können. Die entstandenen Polymere lagern sich an den Anodendrähten der Kammern an. Der Anodenradius vergrößert sich in Folge der Anlagerungen, und dadurch reduziert sich die Gasverstärkung. Es wird nun von Alterung der Kammern gesprochen.

Alterungseffekte sollen möglichst vermieden werden. Vollständig unterdrückbar sind diese Alterungseffekte nicht. Daher ist man auf der Suche nach Driftgasen, die möglichst langsam altern und erst sehr spät ein alterungsbedingtes Versagen der Kammer hervorrufen.

Den Anstoß für den Aufbau dieses Meßstandes gab der Bau eines neuen Driftkammersystemes für den H1 Detektor, der BDC (Backward Driftchamber) am Physikalischen Institut der Universität Heidelberg[Eis94]. Für die BDC ist ein Argon/Isobutan-/Ammoniak Gasgemisch vorgeschlagen worden. Im Rahmen einer Diplomarbeit [Wil94] ist das Gasgemisch untersucht worden, es zeigte dabei sehr gute Eigenschaften wie zum Beispiel eine hohe Gasverstärkung bei geringen Spannungen, kleine Lorentzwinkel und eine Driftgeschwindigkeit, die sich nur in einer geringen Abhängigkeit von der Driftfeldstärke befindet.

In dieser Arbeit ist ein Meßstand aufgebaut worden, der es ermöglicht, ohne bauliche Veränderungen Alterungstests an verschiedenen Driftgasen durchzuführen.

Die dazu speziell entwickelten Proportionalzählrohre eignen sich durch ihre Konstruktion besonders für diese Alterungstests. Durch einen abschiebbaren Zylindermantel des Proportionalzählrohres ist eine visuelle Betrachtung des Anodendrahtes in verschiedenen Alterungsstadien möglich.

Das Argon/Isobutan/Ammoniak Gemisch (92,5%/5%/2,5%) wird bezüglich des Langzeitverhaltens und des Hochratenverhaltens untersucht. Die gewonnenen Ergebnisse entscheiden über den weiteren Einsatz des Gases.

Das Gasgemisch Argon/Isobutan/Ammoniak (92,5%/5%/2,5%) wird zusammen mit dem Standardgas Argon/Methan (90%/10%) untersucht, so daß ein unmittelbarer Vergleich zwischen den beiden Gasen möglich ist. Von Argon/Methan ist bekannt, daß es schon bei geringen Mengen akkumulierter Ladung Alterungseffekte zeigt [Bog69],[Gru93].

2 Proportionalzählrohre

2.1 Prinzip des Proportionalzählrohres

Proportionalzählrohre gehören zu den ältesten physikalischen Geräten, um ionisierende Strahlung nachzuweisen. Der grundlegende Aufbau der Proportionalzählrohre hat sich in den letzten 40 Jahren kaum noch verändert. Die Idee, die dem Proportionalzählrohr zu Grunde liegt, wurde in der weiteren Entwicklung zu den Driftkammern genutzt.

Das Anwendungsgebiet für Proportionalzählrohre ist der Nachweis von niedrigenergetischen Röntgenstrahlen, deren Energie einige keV beträgt. Ein weiteres Einsatzgebiet der Proportionalzählrohre ist der Nachweis von thermischen Neutronen. Für diesen Einsatz wird ein Zählgas mit einem hohen Wechselwirkungsquerschnitt für den Einfang von Neutronen benötigt.

Durchquert ein geladenes Teilchen das Gasvolumen eines Proportionalzählrohres, so ionisiert es entlang seiner Flugbahn die Gasatome. Die Anzahl der in der Primärionisation erzeugten Elektronen kann durch geeignete Gasmischungen gesteigert werden. Vom Ort der Entstehung bis zum Anodendraht erfahren die Elektronen sehr viele Stöße mit den Gasmolekülen. Im elektrischen Feld nehmen die Elektronen auf dem Weg zur Anode Energie auf. Infolge inelastischer Zusammenstöße mit den Gasmolekülen geben sie diese gewonnene Energie wieder ab. Nach solch einem inelastischen Zusammenstoß kommen die Elektronen praktisch wieder zur Ruhe. Die Elektronen werden dann erneut durch das elektrische Feld beschleunigt. In der Nähe des Anodendrahtes wo das Feld stark ansteigt können die Elektronen zwischen den Stößen soviel Energie aufnehmen, daß sie selbst in der Lage sind, die Gasmoleküle zu ionisieren. Diese Sekundärionisation geschieht typischerweise in einem Abstand von einigen Anodendrahtradien zur Anodenoberfläche.
Das Hauptcharakteristikum von Proportionalzählrohren ist die proportionale Gasverstärkung, das heißt das Verhältnis aus den auf dem Anodendraht ankommenden Ladungen und den in der Primärionisation entstandenen Elektronen ist proportional zueinander. Für das sinnvolle Einsetzen dieser proportionalen Gasverstärkung ist es von Bedeutung, sich Gedanken über die Geometrie der Zählrohre zu machen.

Im folgenden sei die einfachste Anordnung von zwei planaren Elektroden betrachtet. Das Volumen zwischen den Elektroden sei mit einer Gasmischung gefüllt. Zwischen der Anode und der Kathode sei ein gleichförmiges und senkrecht zu den Elektroden stehendes elektrisches Feld angelegt. Wenn die angelegte Spannung groß genug ist, dann wird ein Elektron, das in einem Ionisationsereignis erzeugt worden ist, zur Anode hin beschleunigt und kann auf dem Weg zur Anode einen Lawinenprozeß auslösen. Die gesamte Ionisation ist nun abhängig von der Länge des Weges, den das Elektron auf dem Weg zur Anode zurücklegt und somit abhängig von dem Ort der Primärionisation. Durch die Bewegung der Ladungsträger in dem elektrischen Feld wird auf beide planaren Elektroden eine Ladung influenziert. Die Ladung fließt über die Anode und einen Widerstand ab und ist dann als Spannungsimpuls meßbar. Für Ionisationsereignisse mit gleicher Energie wird die Signalamplitude mit der Position

Abbildung 1: Das zylindrische Proportionalzählrohr und die 1/r–Abhängigkeit des elektrischen Feldes (aus [Sau87])

variieren. Man erhält keine Relation zwischen Energie und aufgenommenen Signal.

Bei zylindrischen Proportionalzählrohren wird ein sehr dünner, einige μm dicker Metalldraht auf der Achse eines leitenden Zylinders gespannt. Der Metalldraht und der Zylinder sind nicht leitend miteinander verbunden, so daß es möglich ist, eine Potentialdifferenz zu erzeugen. Als Füllgase werden vorzugsweise Edelgase mit speziellen Zusätzen verwendet. Ausführliche Erläuterungen über die Gaswahl und die Arbeitsmechanismen der einzelnen Komponenten werden im Kapitel 6 gemacht.

Das elektrische Feld in einem Proportionalzählrohr ist gegeben durch

$$E(r) = \frac{U_0}{r \ln(r_a/r_i)} \tag{1}$$

r_i = Anodendrahtradius
r_a = Radius des Kathodenzylinders
r = radialer Abstand von der Achse des Zylinders
U_0= angelegte Spannung.

Das elektrische Feld hat sein Maximum unmittelbar auf der Oberfläche der Anode. Von der Anodenoberfläche fällt es mit 1/r ab. Abbildung 1 zeigt den typischen Aufbau eines zylindrischen Proportionalzählrohres und die 1/r–Abhängigkeit des elektrischen Feldes. Wegen der hohen Betriebspannungen in zylindrischen Zählrohren und da in der Regel ein sehr dünner Drahte verwendet wird, werden in unmittelbarer Nähe des Anodendrahtes sehr hohe Feldstärken erreicht. Die Feldstärken können dabei Größenordnungen von 10^4 V/cm erreichen.
Um einen Vervielfachungsprozeß auslösen zu können, müssen die Elektronen auf der

Abbildung 2: Die Zeitliche und räumliche Entwicklung eines Lawinenprozesses (aus [Gru93])

freien Weglänge wenigstens die Energie aufnehmen, die zur Ionisation der Gasmoleküle notwendig ist. Die Energie, die die Elektronen zwischen zwei Stößen bei den Radien r_1 und r_2, aufnehmen, ist gegeben durch

$$\Delta E = -e \int_{r_1}^{r_2} E(r)\, dr. \tag{2}$$

Mit der bekannten Gleichung für das elektrische Feld in einem zylindersymmetrischen Proportionalzählrohr folgt

$$\Delta E = e \int_{r_1}^{r_2} \frac{eU_0}{r \ln(r_a/r_i)}\, dr$$

$$\Delta E = \frac{eU_0}{\ln(r_a/r_i)} \ln(r_2/r_1). \tag{3}$$

Ist die gewonnene Energie ΔE größer als die benötigte Ionisationsenergie, kommt es zum Aufbau des Lawinenprozesses. Die in der Lawine entstehenden Elektronen driften in immer größer werdende elektrische Felder und können ihrerseits wieder Gasmoleküle ionisieren. Der Multiplikationsprozeß entsteht unabhängig vom Ort der primären Ionisation.

Die so entstehende Lawine hat eine tropfenförmige Ausdehnung. Abbildung 2 zeigt die Entwicklung des Lawinenprozesses. Die Elektronen befinden sich innerhalb der Lawine am Kopf und die positiven Ionen am hinteren Ende des Tropfens.

Auf Grund der seitlichen Diffusion der Ladungen und des geringen Durchmessers der Anode umschließt die Lawine die Anode, wie in Abbildung 2 dargestellt. Die Elektronen — die Hälfte aller Elektronen entstehen erst auf den letzten freien Weglängen

Abbildung 3: Gasverstärkung als Funktion der angelegten Spannung (aus [Sau87])

— werden innerhalb sehr kurzer Zeit, ungefähr 1ns, eingesammelt. Die entstandenen positiven Ionen müssen quer durch das Proportionalzählrohr zur Kathode driften. Sie sind um einen Faktor tausend langsamer als die Elektronen und benötigen daher wesentlich mehr Zeit, die Kathode zu erreichen, als die Elektronen die Anode.

Der mittlere Energieverlust durch die Ionisation ist näherungsweise durch die Bethe–Bloch–Formel beschrieben[Blo33],[Per87].

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi N_a z^2 e^4}{mv^2}\frac{Z}{A}(\ln(\frac{2mv^2}{I(I-\beta^2)}) - \beta^2) \tag{4}$$

m = Elektronenmasse , z = Ladung des Teilchens, v = Geschwindigkeit der ionisierenden Teilchen, N_a = Avogadrokonstante, Z = Ordnungszahl des Mediums, A = Massenzahl, I = effektives Ionisationspotential ($I \approx 10ZeV$), $\beta = \frac{v}{c}$

Der Energieverlust ist unabhängig von der Masse der Teilchen und er ist nur abhängig von der Geschwindigkeit $\beta = v/c$. Bei niedrigen Energien ist der Verlauf im wesentlichen proportional zu v^{-2}, weil sich der Logarithmus kaum verändert. Mit wachsender Teilchenenergie durchläuft der Energieverlust ein Minimum, und steigt danach logarithmisch wieder an. Der Energieverlust ist statistisch verteilt. Seine Verteilung, die sogenannte Landauverteilung, ist asymmetrisch und hat einen langen Ausläufer zu hohen Energien Dieser Ausläufer ist rückführbar auf Kollisionen mit kleinen Stoßparametern und Freisetzung von Elektronen mit großen Energien(δ Elektronen). Die

Gesamtanzahl der produzierten Elektronen–Ionen–Paare ist proportional zum Energieverlust ΔE

$$n_{ges} = \frac{\Delta E}{W_i}$$

W_i = Energieverlust pro produziertes Elektronen–Ionen–Paar

Die Abbildung 3 zeigt einen typischen Verlauf der Gasverstärkung als Funktion der angelegten Spannung. Die Gasverstärkung ist stark abhängig von der angelegten Hochspannung. Aus dieser Abbildung ist zu entnehmen, daß bei sehr geringen Spannungen die Rekombination der Ladungen den dominierende Prozeß darstellt. Durch die Rekombination kommt es zu einer Verminderung der Ionenzahl.

Bei einem Spannungsschwellenwert V_T wird das elektrische Feld an der Anode hinreichend groß, um den Ladungsvervielfachungsprozeß zu starten. Ist die Spannung über diesem Schwellenwert, können Gasverstärkungen von ungefähr 10^4 bis 10^6 erreicht werden. Die detektierte Ladung ist dabei proportional zu der Ladung, die in der Primärionisation erzeugt wurde. Dieser Proportionalitätsfaktor ist die Gasverstärkung. Im Proportionalbereich steigt die Gasverstärkung exponentiell mit der angelegten Spannung an.

Verläßt man den Proportionalitätsbereich, so gelangt man in einen Bereich der begrenzten Proportionalität. Dabei nimmt die Proportionalität mit zunehmender Spannung immer mehr ab. Dieses Verhalten hat seine Ursache in den gebildeten Raumladungen in der Nähe des Anodendrahtes, welche das elektrische Feld verzerren.

Der Bereich der begrenzten Proportionalität endet schließlich in einem Sättigungsbereich, in dem das detektierte Signal unabhängig von der Primärionisation ist. Die Gasverstärkung ist das Verhältnis aus den auf dem Anodendraht ankommenden Ladungen und den aus der Primärionisation hervorgegangenen Elektronen.

$$A = \frac{n}{n_0} = \exp(\alpha x) \tag{5}$$

n_0 = Anzahl der Elektronen, die durch Primärionisation entstanden sind
n = Anzahl der auf dem Anodendraht ankommenden Elektronen
α = erster Townsend–Koeffizient.

Der erste Townsend–Koeffizient gibt die Anzahl der Elektronen–Ionen–Paare an, die die Elektronen pro Längeneinheit beim Lawinenaufbau erzeugt haben. Er ist im allgemein abhängig vom elektrischen Feld und somit auch vom Ort x. Daraus ergibt sich im allgemeinen Fall für die Gasverstärkung

$$A = e^{\int_{r_k}^{r_i} \alpha(x)\, dx} \tag{6}$$

r_i = Anodenradius
r_k = Abstand vom Zentrum des Zählrohres bis zu dem Punkt, an dem die elektrische Feldstärke die kritische Größe übersteigt, bei der die Ladungsvervielfachung einsetzt.

Der Gasverstärkungsfaktor ist von fundamentalem Interesse für die Entwicklung von Proportionalzählrohren. Es existieren verschiedene Modelle, um den ersten Townsend–Koeffizienten zu berechnen.

In einem Modell von Rose und Korff wird der erste Townsend–Koeffizient wie folgt parametrisiert [Leo87]

$$\frac{\alpha}{P} = C' e^{\frac{-BP}{E}} \tag{7}$$

P = Druck
E = elektrische Feld
B undC' = gasabhängige Konstanten

In dem Proportionalbereich kann angenommen werden, daß der erste Townsend–Koeffizient sich in einer linearen Abhängigkeit zur Energie der Elektronen befindet.

$$\alpha = kN\epsilon \tag{8}$$

N =Anzahl der Moleküle pro Einheitsvolumen
ϵ = durchschnittliche Elektronenenergie
k = gasabhängige Konstante der Größenordnung 10^{-17} cm^{-2}/V.

2.2 Signalentstehung

Das Pulssignal an den Elektroden entsteht durch die Bewegung der Ionen und der Elektronen während des Driftens zur Kathode beziehungsweise zur Anode. Wie das Signal zustande kommt, soll im folgenden erklärt werden [Leo87]. Das elektrische Feld eines Proportionalzählrohres ist durch Gleichung(1) gegeben. Das elektrische Potential ist gegeben durch:

$$\varphi = -\frac{CU_0}{2\pi\epsilon} \ln(r/a), \tag{9}$$

wobei U_0 die angelegte Spannung, ϵ die Dielektrizitätskonstante ist und a der Radius der Anode ist. C ist die Kapazität des Systems pro Längeneinheit. Im Proportionalzählrohr ist C gegeben durch

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(b/a)}.$$

Wobei b der Radius der Kathode ist. Angenommen, es befindet sich eine Ladung q im Abstand r_1 zum Anodendraht, dann ist die Potentialenergie der Ladung gegeben durch

$$E = q\varphi. \tag{10}$$

Bewegt sich nun die Ladung q um dr, dann ändert sich die Energie zu

$$dE = q\frac{d\varphi(r)}{dr}dr. \tag{11}$$

Für ein zylindrisches Proportionalzählrohr ist die elektrostatische Energie gegeben durch

$$E = \frac{1}{2} l C U_0. \tag{12}$$

l ist dabei die Länge des Proportionalzählrohres. Durch die Energieerhaltung folgt

$$dE = l C U_0 dU = q \frac{d\varphi(r)}{dr} dr, \tag{13}$$

daraus ergibt sich eine Spannungsänderung dU

$$dU = \frac{q}{l C U_0} \frac{d\varphi}{dr} dr. \tag{14}$$

Diese Spannungsänderung wird durch die Verschiebung der Ladungen erzeugt.

Unter der Annahme, daß der Ladungsvervielfachungsprozeß im Abstand r_1 zum Anodendraht auftritt, erhält man für das erzeugte Spannungssignal der Elektronen der Lawine

$$U_- = -\frac{q}{l C U_0} \int_a^{a+r_1} \frac{d\varphi}{dr}\, dr$$

$$U_- = -\frac{q}{2\pi\,\epsilon_0 l} \ln \frac{a + r_1}{a}. \tag{15}$$

Die positiven Ionen hingegen erzeugen ein Spannungssignal von

$$U_+ = +\frac{q}{l C U_0} \int_{a+r_1}^{b} \frac{d\varphi}{dr}\, dr$$

$$U_+ = -\frac{q}{2\pi\,\epsilon_0 l} \ln \frac{b}{a + r_1}. \tag{16}$$

Aus dem Verhältnis der beiden Einzelbeiträge kann nun der relative Anteil jeder einzelnen Komponente abgeschätzt werden. Daraus folgt, daß beim Proportionalzählrohr das Signal überwiegend von den sich langsam vom Anodendraht wegbewegenden positiven Ionen erzeugt wird. Die schnell zum Anodendraht driftenden Elektronen leisten lediglich einen sehr kleinen Beitrag zum Gesamtsignal.

Das gesamte erzeugte Signal setzt sich aus der Summe der beiden Einzelbeiträge zusammen. Die in einem zylindersymmetrischen Zählrohr erzeugte Gesamtspannung ergibt sich somit aus

$$U = U_- + U_+ = -\frac{Q}{l C}. \tag{17}$$

Die zeitliche Entwicklung des entstandenen Spannungssignal ist annähernd gegeben durch

$$U(t) = -\frac{Q}{4\pi\epsilon l} \ln(1 + \frac{\mu C U_0 t}{\pi \epsilon a^2}). \tag{18}$$

Dieses lange Spannungssignal wird üblicherweise durch ein RC–Glied differenziert. Die Abbildung 4 zeigt die Pulsform, die man für verschiedene Zeitkonstanten erhält. Über solch ein RC–Glied wird auch das Signal in diesem Meßstand differenziert, siehe Kapitel 4.4.2. Das Spannungssignal wird dabei über den Widerstand gegen Masse abgegriffen. Aus diesem abgegriffenen Spannungssignal kann der geflossene Strom durch das Ohmsche Gesetz berechnet werden. Mittels des Stromes ist es nun möglich, die integrierte Ladung, die vom Anodendraht abfließt, zu berechnen.

Abbildung 4: Pulsform nach der RC–Differentiation des Spannungssignales mit verschiedenen Zeitkonstanten τ. Die Zeiten sind in ns angegeben (aus [Leo87]) .

3 Alterung

3.1 Einführung

Unmittelbar nach der Entwicklung und den ersten Einsätzen der MWPCs (Multiwire Proportional Chamber) traten die ersten Alterungseffekte auf, die die Lebensdauer der MWPC beschränkten. Es existieren verschiedene Anzeichen, die auf ein baldiges Versagen von MWPCs und Driftkammern, verursacht durch Alterungseffekte, hinweisen [Cha72]. Diese sind: in den Kammern auftretende Kriechströme, die bis zu einigen hundert Mikroampere groß werden können, hohe Hintergrundzählraten bis zu einigen Kilohertz und selbsterhaltende Entladungsprozesse, die verursacht werden durch das Bestrahlen der Kammer und schließlich Ablagerungen an den Elektroden. In diesem Kapitel soll auf die gemachten Beobachtungen der Alterung eingegangen werden, und es werden Vorschläge gemacht, die die Alterung zumindest verlangsamen sollen.

Die Alterung von Driftkammern in Folge von Polymerisationsprozessen ist noch nicht hinreichend verstanden. Während der Lawinenprozesse brechen große organische Moleküle bei der Kollision mit Elektronen oder in UV–Photonen–Absorptionsprozessen auf. Die beim Aufbrechen entstehenden Endprodukte sind ölige oder paraffinartige Stoffe. Einige davon sind in der Lage, Molekülketten zu formen, die sich dann als Polymere an Anode und Kathode anlagern. Sobald sich Komponenten mit 5, 6 oder mehr Kohlenstoffatomen verbinden, können an den Elektroden der Kammern Ablagerungen entstehen. Verursacht durch die Ablagerungen vergrößert sich der Anodendrahtradius, mit der Folge einer Reduktion in der Gasverstärkung bei gleichbleibender angelegter Hochspannung. Bei einer bestimmten Menge von akkumulierter Ladung auf dem Anodendraht verschlechtern sich die Kammereigenschaften derart, daß der Detektor für genaue Messungen, wie zum Beispiel der Energieverlustmessung zur Teilchenidentifikation, unbrauchbar wird [Gru93]. Die Alterung ist mit der Existenz von Kohlenwasserstoffen in Gasgemisch und in Verunreinigungen von Wänden verbunden [Eis94].

Ziel muß es sein, das Problem der Alterung zu verstehen, und eventuelle Methoden zu entwickeln, die Alterung zu verlangsamen oder zu verhindern. Jedes Experiment hat aber seine eigenen Betriebsparameter wie zum Beispiel unterschiedliche Hochspannungen, Gasflüsse, Zählgase und verschiedene Kammerbauelemente. Daher ist es schwer, gewonnene Information aus speziellen Alterungsexperimenten auf andere zu extrapolieren. Dies ist auch ein Grund für die Verwendung des Argon/Methan(90%/10%). Die erhaltenen Ergebnisse mit Argon/Methan können dann mit den Ergebnissen anderer Gase, die in dem aufgebauten Meßstand gewonnen werden, verglichen werden.

Ein Modell ermöglicht, wenigstens qualitative Ergebnisse zu erhalten. Ein quantitatives Erfassen der Polymerisationsprozesse, geschweige denn deren Kontrolle, ist noch in weiter Ferne. Es wird daher versucht, Querverbindungen zur Plasmachemie herzustellen, und die Ergebnisse und die Erfahrungen die dort erzielt worden sind, auf den Bereich der Kammerphysik zu übertragen. Die Plasmachemie befaßt sich mit

der Polymerisation in verschiedenen Plasmen.

Abbildung 5: Schematische Darstellung einer Polymerkette (aus [Wms86])

3.2 Plasmachemie

Die Bildung von Polymeren oder organischen Filmen auf den Elektrodenoberflächen von Driftkammern oder Proportionalzählrohren kann im Rahmen der Plasmachemie beschrieben werden. Das RF–Plasma, das für die Plasmapolymerisation verwendet wird, ist ein teilweise ionisiertes Gas, das aus Elektronen, Ionen und einigen neutralen Elementen zusammengesetzt ist [Hes86]. Die neutralen Elemente sind für die Bildung von Polymeren verantwortlich, dies liegt an ihrer hohen Konzentration und nicht notwendigerweise an ihrer chemischen Aktivität.
Im Gasplasma ist die Bildung von chemisch sehr aktiven Molekülarten bekannt. Die meisten Untersuchungen sind dabei mit Kohlenwasserstoffgasen gemacht worden [Yas85]. Es ist bekannt, daß Kohlenwasserstoffe sehr aktive Verbindungen sind. Bei den möglichen Reaktionen, an denen Kohlenwasserstoffe teilnehmen, besteht die Möglichkeit der Bildung von kettenförmigen Molekülen. Diese Reaktionen nehmen ihren Anfang in der Gasphase. Im weiterem Verlauf der Reaktion, das heißt mit zunehmender Größe der Moleküle, setzt sich die Reaktion in der flüssigen Phase fort. Wenn die Molekülketten den Anodendraht erreichen, kann ein Übergang von der flüssigen zur festen Phase stattfinden. Sowohl die feste, als auch die flüssige Phase werden erst am Anodendraht erreicht. Beim Erreichen dieser Phasen besteht die Möglichkeit der Ablagerung an der Anodenoberfläche. Die Art der Reaktion ermöglicht sehr komplexe Strukturen. Es ist beachtlich, welch beträchtliche mechanischen Stärken die Bindungen dabei aufweisen können.
Bei dem in diesem Meßstand benutzten Methan werden Ablagerungen der Art des Polyethylen $H(CH_2)_nH$ erwartet, wobei n gewöhnlich sehr groß ist. Abbildung 5 zeigt eine schematische Darstellung der zu erwartenden Kette. Das bemerkenswerte

an den Bindungen solcher Ketten ist, daß Variationen in der linearen Struktur der Alkane möglich sind. Das Kohlenstoffatom ist im Methan durch vier Wasserstoffatome abgesättigt. Die Abbildung 5 zeigt, daß innerhalb einer Kohlenstoffkette Kohlenstoffatome auch mit zwei, drei oder so gar vier Kohlenstoffatomen abgesättigt werden können. Die dabei möglichen kovalenten Doppelbindungen der Kohlenstoffverbindung können leicht durch freie Radikale aufgebrochen werden, die aufgebrochenen Doppelbindungen reagieren weiter. Als Reaktionsprodukte können dann Polymere entstehen.

Die Polymerisation kann in drei grundlegende Prozesse [Hes86] aufgegliedert werden. Die einzelnen Schritte sind die Initiation, die Verbreitung und die Polymerbildung. Ein aktives Molekül M^* muß erzeugt werden, um den Polymerisationsprozeß in Gang zu bringen. M^* kann dabei ein freies Radikal, also neutral, oder aber auch ionischer Natur sein. Ein Initiator I kann im Plasma sowohl ein hochenergetisches Photon als auch ein Elektron sein. Die Ionisation des Monomers oder die Auflösung der Bindung kann wie folgt aussehen:

$$I + M \rightarrow M^*$$

M^* kann nun weiter mit anderen Arten reagieren, um das molekulare Gewicht zu vergrößern

$$M + M^* \rightarrow MM^*$$
$$M_n^* + M \rightarrow M_{n+1}^*.$$

Diese aktiven Fragmente können weiter wachsen, bis schließlich ein Polymer gebildet ist. Verbinden sich zwei aktive Fragmente, kann der Wachstumsprozeß beendet werden. Das dabei entstehende Reaktionsprodukt ist ein Polymer

$$M_n^* + M_m^* \rightarrow P_{n+m}.$$

Die Abbildung 6 zeigt einen Mechanismus für das Formen von Polyethylen aus Methan. Es ist nur eine kleine Auswahl möglicher Reaktionen des Methans im Plasma dargestellt. Ausgelöst werden diese Reaktionen durch einen Elektroneneinschlag (Gleichung 1 in Abb. 6). Die Verbreitung ist durch Gleichungen 2 und 3(in Abb. 6) dargestellt. Molekülverbindungen wie das Methylen (CH_2 :) sind Vorläufer der Polymerisation. Wenn aktive Fragmente wie Methylen auf die Anodenoberfläche treffen, können verhältnismäßig einfach Polymere entstehen. Ethylen $CH_2 = CH_2$ ist ein leicht zu polymerisierendes Monomer. Es besteht aber auch die Möglichkeit, daß Reaktionen auftreten wie in Gleichung 5 bis 7 (in Abb. 6) dargestellt. Bei diesen Reaktionen entstehen stabile und flüchtige Reaktionsprodukte. Diese Arten der Reaktionen minimieren die Polymerisation und eliminieren die meisten aktiven Fragmente im Plasma und auf der Oberfläche.

3.3 Beobachtete Alterungseffekte

In diesem Abschnitt soll der Prozeß, der zur Ummantelung der Elektroden führt, erklärt werden. Durch die Ablagerungen an den Elektroden können sich durch Sekundärelektronenemission aus dem Elektrodenbelag hohe elektrische Felder zwischen

Abbildung 6: Reaktionen des Methans im Plasma (aus [Hes86])

der Ablagerungsschicht und der Elektrode aufbauen. Dieser Effekt ist als Malter–Effekt bekannt und wird im zweiten Teil dieses Abschnittes besprochen.

3.3.1 Modell der Elektrodenummantelung

Die Energien, die benötigt werden, um Gase zu ionisieren, liegen typischerweise zwei bis fünfmal höher, als die Energie, die zum Aufbrechen kovalenter Bindungen benötigt werden. Die Abbildung 7 gibt einige typische Werte für beide Energien an. Ist eine kovalente Bindung aufgebrochen, sei es durch ein Elektron oder durch ein Photon, entstehen freie Radikale, welche keine Nettoladung, jedoch ein großes Dipolmoment besitzen. Die chemisch sehr aktiven freien Radikale werden von der Anode angezogen. Die freien Radikale können auf zwei unterschiedliche Weisen reagieren. Die eine Möglichkeit ist die Rekombination zum ursprünglichen Molekül, die andere ist das Formen langer Molekülketten, welche zur Bildung von Polymeren führen kann. Die Polymerisationsrate ist abhängig von der Konzentration der freien Radikale. Daher wäre es von Interesse zu wissen, wie hoch die Konzentration der freien Radikale ist, deren Bestimmung jedoch nicht möglich ist. In der Abbildung 8 ist schematisch die Bildung von Polymeren an der Anode dargestellt. Zu Beginn des Ablagerungsprozesses werden die Polymere nur schwach an die Anode gebunden. Diese schwache Bindung geht über in eine starke Bindung, wenn Prozesse zwischen der Anode und dem Polymer ablaufen oder die Anode vollständig von Polymeren ummantelt ist.

Leitende Ablagerungen auf dem Anodendraht vergrößern den Anodendurchmesser und reduzieren somit die Gasverstärkung. Es besteht aber auch die Möglichkeit nicht leitender Ablagerungen auf dem Anodendraht.
Die Vermutung liegt nahe, daß mit einem ausreichend großem Gasfluß die Ablagerung

Abbildung 7: Bindungsenergien von kovalenten Bindungen, Trennungs und Ionisationsenergien von einigen Gasen (aus[Vav86])

der Polymere auf der Anode verhindert werden kann. Auf Möglichkeiten zur Verlangsamung der Alterung wird im nächsten Abschnitt genauer eingegangen werden.

3.3.2 Malter–Effekt

Bei dauerhafter oder auch nur bei zeitweiser Bestrahlung der Kammer , tritt nach kurzer Zeit ein allmählich wachsender Strom auf. Dieser Strom liegt größenordnungsmäßig bei einigen Mikroampere. Es existiert ein bekannter Mechanismus für die Auslösung von Sekundärelektronen aus der Kathode, welcher als Malter–Effekt [Mal36],[Sau86] bekannt ist. Bei visueller Betrachtung der bestrahlten Regionen der Elektroden ist deren vollständige Ummantelung aufgefallen. Eine dünne, auf der Kathode befindliche, isolierende Schicht verursacht die zu beobachtenden Kriechströme. Lagert sich auf dieser isolierenden Schicht Ladung ab, so wird längere Zeit benötigt, um diese Ladung zu neutralisieren. In Gaszählern ohne Ladungsvervielfachung oder mit geringen Raten wird sich dieser Effekt nicht sonderlich bemerkbar machen. Werden die Zähler jedoch Strahlung mit hoher Rate ausgesetzt, lagern sich positive Ionen, die in dem Lawinenprozeß entstanden sind, auf der isolierenden Schicht der Kathode an. Es können lokale Verzerrungen des elektrischen Feldes durch die angesammelten Ionen auftreten. Das Dipolfeld quer durch die isolierende Schicht kann dabei so groß werden, daß Sekundärelektronen aus der Kathode emittiert werden. Die Sekundärelektronen driften ihrerseits zum Anodendraht und verursachen einen weiteren Lawinenprozeß, in dem weitere positive Ionen entstehen.

Auf diese Weise ist es auch verständlich, daß selbst ein Entfernen der Strahlungsquelle den Strom nicht unterbrechen kann.

Abbildung 8: Schematische Darstellung von Polymeren an der Anodenoberfläche (aus [Vav86]

Temporäres Abschalten der Hochspannung unterdrückt klarerweise den Prozeß, der durch erneutes Einschalten jedoch wieder zu beobachten ist. Das an der Kathode entstandene Dipolfeld verringert das elektrische Feld am Anodendraht, was sich in einer Reduzierung der Gasverstärkung niederschlägt.

3.4 Parameter für den Kammerbau und ihre Auswirkungen

In diesem Kapitel soll die Korrelation zwischen Alterung und den Designparametern für den Kammerbau untersucht werden. Proportionalzählrohre und Driftkammern werden mit Gasgemischen betrieben, die sich aus Edelgasen und zusätzlichen Komponenten zusammensetzen. In dem in dieser Arbeit aufgebauten und in Kapitel 4 beschriebenen Meßstand werden Argon/Methan und Argon/Isobutan/Ammoniak–Gemische verwendet. Im aktiven Gasvolumen der Kammer befinden sich zusätzlich Verunreinigungen, die zum einen Teil mit dem Gasgemisch hineingelangen und zum anderen Teil vom Ausgasen der Kammerbauelemente herrühren.

3.4.1 Gaswahl

Das Zählgas ist einer der wichtigsten einstellbaren Parameter beim Betrieb von Driftkammern und Zählrohren. Es werden hohe Anforderungen an das Gasgemisch gestellt, die hier erläutert werden sollen. Aus Gründen der Sicherheit und der Spannungsfestigkeit ist man bestrebt, bei möglichst niedrigen Betriebsspannungen zu arbeiten.

Die Edelgase eignen sich besonders für den Einsatz in Driftkammern, weil dort geringe elektrische Feldstärken benötigt werden, um eine Lawinenprozeß auszulösen. Reines Argon, wie Edelgase im allgemeinen, kann der Forderung nach hoher Gasverstärkung nicht gerecht werden. In den Edelgasen machen sich metastabile Zustände in zahlreichen Nachentladungen störend bemerkbar, so daß man in Argon oberhalb von 10^3 bis 10^4 keine stabile Gasverstärkung mehr erhält [Leo87]. Ursache hierfür ist die hohe Anregungsenergie (11,6 eV) des Argons. Innerhalb der Lawine werden sowohl angeregte als auch ionisierte Argonatome erzeugt.

Die angeregten Argonatome verlieren ihre Energie wieder und ermöglichen, daß hochenergetische Photonen die Kathode ionisieren. Durch das aus der Kathode austretende Elektron wird dann eine weitere verspätete Lawine ausgelöst. Dieser Effekte ist nicht erwünscht, weil zusätzliche Lawinen ausgelöst werden. Selbst für moderate Gasverstärkungen bedeutet dies schon dauerhafte Nachentladungen.

Abhilfe schaffen komplexe Moleküle, die Quenchinggase, die als Zusätze zu den Edelgasen gegeben werden. Der Quenchingmechanismus ([Sad81]) basiert auf der erhöhten Anzahl von Freiheitsgraden der komplexen Moleküle, die nichtstrahlende Anregungszustände, wie zum Beispiel die Vibrations– und die Rotationszustände besitzen, welche eine sehr effiziente Absorption von Photonen erlauben. Beispielsweise liegt der Absorptionsbereich des Methans zwischen 7,9 und 14,5 eV und überdeckt so den Bereich, in dem das Argon Photonen emittiert.

Gute Quencher haben größere Photonabsorptionsquerschnitte als Photonionisationsquerschnitte. Als Quencher werden sehr oft Kohlenwasserstoffe, zum Beispiel Methan, und Alkohole eingesetzt. Die Quencher verschieben die Schwelle, an denen Nachentladungen auftreten, zu höheren Feldstärken. Der Wirkungsquerschnitt für Photonenabsorption liegt dabei typischerweise zwischen 10^{-17} und $10^{-16}\mathrm{cm}^2$.

Ein ähnlicher Mechanismus tritt auch bei angeregten Zuständen auf, dabei trans-

feriert der angeregte Zustand A^* seine Energie auf ein komplexes Molekül C.

$$A^* + C \rightarrow A + C^*$$

Dieser Prozeß besitzt einen Wirkungsquerschnitt von 10^{-15}cm^2; er tritt innerhalb der Lawine auf und trägt zur Stabilisierung des Lawinenprozesses bei.

Der Nachteil der komplexen Moleküle ist ihr geringes Ionisationspotential, weshalb Elektronen das Molekül leicht ionisieren können. Beim sogenannten Penning–Effekt kommt es bei der Kollision zwischen einem angeregten Edelgasatom und einem komplexen Molekül direkt zu einer Ionisation:

$$A^* + C \rightarrow A + C^+ + e^-$$

Der Wirkungsquerschnitt liegt ungefähr zwischen 10^{-15} und 10^{-16} cm^{-2}.

Es kann aber auch zum Ionenaustausch kommen, mit ungefähr dem gleichen Wirkungsquerschnitt.

$$A^+ + C \rightarrow A + C^+$$

Das entstandene komplexe Molekül läßt sich leicht polymerisieren und führt zu unerwünschter Alterung.

Durch Hinzugabe von weiteren Additiven wird versucht, den letzteren Effekt aufzuheben. Die Additive haben ein geringeres Ionisationspotential als die komplexen Moleküle. Zusammenfassend kann man über den Quenchingmechanismus sagen: Je mehr Komponenten das Gasgemisch hat und je mehr Atome die einzelnen Gase haben, desto besser ist die Quenchingeffizienz.

3.4.2 Gute Additive zum Zählgas

In diesem Abschnitt sollen Additive vorgestellt und diskutiert werden, die die Lebensdauer der Kammern verlängern. Eine offensichtliche Methode, um Polymerisation ganz zu vermeiden oder auch nur zu verlangsamen , ist, vollständig auf jede Art von polymerisierenden Zusätzen zu verzichten. Das dabei auftretende Problem ist, daß für eine gute Energieauflösung und für eine hohe Gasverstärkung nur Gasgemische geeignet sind, die einen hohen Photonabsorptionsquerschnitt haben. Daher werden Kohlenwasserstoffgase als Quencher benutzt. Ein Einsatz, von zum Beispiel Kohlendioxid oder auch von anderen nicht polymerisierenden Gasen ist grundsätzlich möglich, aber diese Gase haben nur kleine Gasverstärkungen.

Wasser, Alkohle, Ether und Methylal Die grundsätzliche Struktur dieser Additive zeigt Abbildung 9. Diese Verbindungen haben alle ein großes Dipolmoment. Daraus folgt, daß sie einen großen Wirkungsquerschnitt für Elektron–Molekül–Streuung haben, so daß die durchschnittliche Elektronenenergie in der Lawine kleiner wird. Alle diese Verbindungen haben einen großen Wirkungsquerschnitt für die Absorption von UV-Photonen. Das große Dipolmoment bewirkt, daß sich diese Moleküle in der Nähe der Anoden und Kathoden aufhalten werden. Das geringe Ionisationspotential

Abbildung 9: Struktur von Wasser, Alkohol, Ether und Methylal (aus[Vav86])

dieser Additive im Vergleich zu den Kohlenwasserstoffen, einzige Ausnahme Wasser, bewirkt den Schutz der Kohlenwasserstoffe durch Ladungstransfer.

Außerdem bewirkt die hohe Elektronegativität des Sauerstoffes, im Fall des Aufbrechens der Additive, daß sie sich entweder wieder zusammenschließen oder aber ein neues stabiles und flüchtiges Molekül bilden.

Der Nachteil dieser Additive im Gegensatz zu den Kohlenwasserstoffen ist das Fehlen der erforderlichen Quenching–Eigenschaften. Daher ist es nur möglich, diese Additive zusätzlich zu den Kohlenwasserstoffen zum Zählgas zu geben.([Vav86])

Ammoniak Ammoniak ist ein polares Molekül, genauso wie zum Beispiel Wasser. Ammoniak soll mit den freien Radikalen der Kohlenwasserstoffe in der Weise reagieren, daß Ablagerungen in Folge von Polymerisation verhindert werden kann. Ein Vorteil des Ammoniaks gegenüber dem Wasser ist, daß Ammoniak einfacher in ein Gasgemisch einzubinden ist als Wasser ([Sch94]).

3.4.3 Schlechte Additive zum Zählgas

Die schlechten Additive beschleunigen den Alterungsprozeß. Untersuchungen [Wms86], [Sau86], [Kot86] ergaben, daß die Ablagerungen vor allem aus Kohlenstoff, auf Kohlenstoff basierenden Polymeren, Silizium, Halogenen und schwefelhaltigen Elementen bestehen. Die Art der Ablagerung ist abhängig von den jeweiligen Betriebsparametern im Experiment.

Halogene Halogene sind wegen ihrer hohen Elektronegativität sehr aktive Elemente. Die Halogene können nur kovalente einfache Bindungen eingehen, die schwächer

sind als kovalente Doppelbindungen. Außerdem ist eine Kohlenstoff–Chlor–oder eine Kohlenstoff–Brom–Verbindung schwächer als eine Kohlenstoff–Wasserstoff–Verbindung. Daraus folgt, daß man weniger Energie benötigt, um freie Radikale des halogenisierten Kohlenwasserstoffes zu erzeugen, als beispielsweise bei den reinen Kohlenwasserstoffen. Halogenisierte Kohlenwasserstoffe haben folglich eine höhere Dichte von freien Radikalen im Plasma und somit ist auch die Polymerisationsrate höher, als bei reinen Kohlenwasserstoffen. Einzige Ausnahme ist dabei das CF_4 . Dieses Gas wurde auch schon in Kammern [Fis85] getestet. Das CF_4 hat eine wesentliche geringere Polymerisationsrate als die üblichen halogenisierten Kohlenwasserstoffe.

Silizium Verunreinigungen mit Silizium sind allgegenwärtig. Silizium findet man in Gasflaschen als Silan. Außerdem bestehen viele Elemente des Kammerbaus aus Silizium enthaltenden Materialien, wie zum Beispiel G10 (Glasfaserverstärktes Epoxydharz).

Der atomare Aufbau des Siliziums entspricht dem des Kohlenstoffes. Silizium hat die Fähigkeit, sowohl mit Sauerstoff als auch mit Kohlenwasserstoffen Polymere zu bilden. Wegen des relativ hohen Molekulargewichtes ist es nicht möglich , die Polymere mittels des Gasflußes herauszuspülen.

Als eine in der Literatur[Vav86] vorgestellte Lösung ist das schon erwähnte CF_4 zu nennen. Bei der Reaktion zwischen Silizium und CF_4 entsteht das flüchtige SiF_4. Eine weitere Möglichkeit, die Kammer vor Siliziumverunreinigungen zu schützen, ist der Einsatz von guten Filtern [Vav86].

Abbildung 10: Beispiele der chemischen Zusammensetzung einiger typischer Gasschläuche (aus [Vav86])

3.4.4 Gasschläuche

Die meisten kunststoffgefertigten Gasschläuche sind polymere Gasschläuche. Abbildung 10 zeigt unter anderem den strukturellen Aufbau eines aus Polyethylen gefertigten Gasschlauches, der auch in diesem Meßstand Verwendung findet. Es ist daher durchaus möglich, daß einige Fragmente der Polymerketten sich vom Gasschlauch lösen und durch den Gasfluß in den aktiven Bereich der Kammer kommen. Der sicherste Weg, dem vorzubeugen, ist die Verwendung von rostfreien Edelstahl–Gasrohren.

4 Aufbau des Meßstandes

4.1 Gesamtaufbau

In dem hier aufgebauten Meßstand (siehe Abbildung 11) sollen ausschließlich die Effekte des Zählgases untersucht werden. Um möglichst geringe Verunreinigungen im aktiven Volumen zu erhalten, sind die Zählrohre aus rostfreiem Edelstahl und die Gasschläuche aus Polyethylen gefertigt. Die Zählrohre befinden sich dazu in einem Faraday–Käfig, um ein hochfrequentes Pick–up zu vermeiden. Die Absicht ist, relativ früh alterungsbedingte Erscheinungen zu beobachten. Dafür wird der Gasfluß möglichst klein eingestellt.

Zum Nachweis von Alterungseffekten wird die Veränderung der Gasverstärkung bei gleichen Betriebsbedingungen genutzt. Für die Bestimmung der Gasverstärkung werden die Zählrohre mit einem ^{55}Fe–Präparat bestrahlt. Das dabei entstehende Röntgenquant von 5,9 keV deponiert durch Photoeffekt eine definierte Ladung im Zählgas.

Der Betrieb bei hoher Zählrate und großer integrierter Ladung wird durch die Bestrahlung mit einer Röntgenröhre simuliert. Die Zählrate ist dabei so hoch, daß die Ausleseelektronik die einzelnen Pulse nicht mehr erkennen kann, so daß ein kontinuierlicher Strom über die Anode gemessen wird.

Zur Aufnahme der Pulshöhenspektren und für die Registrierung des Stromes wird ein rechnergesteuertes Datennahmesystem genutzt, welches im Rahmen einer Diplomarbeit aufgebaut worden ist [Wil94].

Die Kammersignale werden für das Pulshöhenspektrum mit einem Flash Analog Digital Converter (FADC) mit 104 MHz digitalisiert. Die Digitalisierung der Signale zur Strommessung geschieht durch einen Analog Digital Converter (ADC). Das Datennahmesystem wird über einen Apple–Macintosh–Rechner gesteuert, auf dem die Daten ausgelesen und ausgewertet werden.

4.2 Aufbau der Zählrohre

Bei den in der Mechanischen Werkstatt der Universität Heidelberg hergestellten zylindersymmetrischen Zählrohren handelt es sich um eine spezielle Konstruktion, die für den Einsatz in Alterungstests entwickelt worden ist. Die Abbildung 12 zeigt den Aufbau der Zählrohre.

Das gesamte Zählrohr hat eine Länge von 420 mm. Das Rohr ist dabei unterteilt in ein Innenrohr, das zur Befestigung und zur Zentrierung dient, und ein Außenrohr, das gleichzeitig die Kathode ist. Beide sind aus Edelstahl hergestellt. Das Innenrohr hat eine Länge von 220 mm und einen Durchmesser von 5 mm. Das Außenrohr hat eine Länge von 200 mm und einen Durchmesser von 9,8 mm. Verbunden sind die beiden Rohre durch eine Messingmutter, die gleichzeitig das Außenrohr zentriert. Auf den jeweiligen Endseiten sind die Rohre an speziellen Halterungen befestigt. Die Innenhalterung des Außenrohres ist dabei aus GFK (glasfaserverstärkter Kunststoff) hergestellt worden.

Abbildung 11: Aufbau des Teststandes (dargestellt für nur ein Zählrohr)

Abbildung 12: Aufbau der Zählrohre

Der Anodendraht, ein 20 μm dicker und mit ungefähr 0,6 μm Gold beschichteter Wolframdraht, ist auf der Mittelachse des zylindrischen Außenrohrs gespannt. Der Anodendraht ist an beiden Seiten durch Crimphülsen befestigt. Die eine Crimphülse ist an der Innenhalterung befestigt und wird durch diese hindurchgeführt, so daß hier die Hochspannungsversorgung angelegt werden kann. Die Hochspannungen werden über einen Hochspannungsbus den jeweiligen Zählrohren zugeführt. Der Anodendraht liegt auf positiver Hochspannung, während der Zylindermantel auf Masse liegt. Für die mit Argon/Methan betriebenen Zählrohre sind 1300V, für die mit Argon/Isobutan/Ammoniak 1060V angelegt. Die andere Crimphülse ist in einer aus GFK gefertigten, auf dem Innenrohr aufgesteckten Halterung befestigt.

Das Außenrohr, die Kathode und der Anodendraht sind nicht leitend miteinander verbunden. Die Kathode läßt sich über das Innenrohr schieben. Somit kann der Anodendraht beobachtet werden, ohne ihn aus dem Zählrohr entfernen zu müssen. Nach der Inspektion des Anodendrahtes kann mit den Alterungstests fortgefahren werden. So besteht die Möglichkeit, sich verschiedene Stadien der Alterung anzuschauen und etwaige Veränderungen zu dokumentieren, ohne jedesmal wieder einen neuen Zähldraht verwenden zu müssen.

Die Kathode hat keine leitende Verbindung zum übrigen Gestell. Somit ist es möglich, den Strom, der von der Kathode über einen Widerstand gegen Masse fließt, zu messen. So kann die vom Draht abgeflossene Ladung bestimmt werden. Der Rest des Zählrohraufbaus ist direkt auf Masse gelegt.

Für die Untersuchungen werden sechs Rohre gleichzeitig getestet. Die Bestrahlung mit der Röntgenröhre kann parallel für alle sechs Zählrohre durchgeführt werden. Vor der Inbetriebnahme der Röntgenröhre ist der Faraday–Käfig mit Blei ausgekleidet worden.

Um eine ausreichende Zählrate zu gewährleisten, muß bei der Messung mit der ^{55}Fe-Quelle jedes Zählrohr einzeln bestrahlt werden.

4.3 Gassystem

In dem Meßstand werden drei Rohre mit einer Argon/Methan–Mischung und drei mit Argon/Isobutan/Ammoniak betrieben. Die Argon/Methan–Mischung wird aus kommerziell erhältlichen Gasflaschen bezogen.

Das Argon/Isobutan/Ammoniak–Gas ist in einer Gasmischanlage des Physikalischen Instituts hergestellt worden. Die Abbildung 13 zeigt die Gasversorgung von drei Zählrohren, die mit einem Gasgemisch versorgt werden.

Aus einem Gastank werden die mit Argon/Isobutan/Ammoniak betriebenen Zählrohre, durch Abzweigungen der aus Polyethylen bestehenden Gasleitung, mit Gas versorgt. Vor dem Eintreten des Gases in das aktive Volumen des Zählrohres gelangt das Gas zunächst in eine unmittelbar vor dem Eintritt angebrachte Wendel. Diese Wendel mit einem Innendurchmesser von 1 mm hat einen wesentlich höheren Strömungswiderstand als das Proportionalzählrohr. Damit wird gewährleistet, daß alle Zählrohre mit dem gleichen Gasfluß versorgt werden.

Die Gaszuführung in das aktive Volumen des Zählrohres befindet sich ungefähr 3 mm unterhalb der Hochspannungsversorgung für den Anodendraht. Der Durchmesser der Zuführung beträgt, wie der Innendurchmesser der Wendel, 1 mm.

Nach dem Austreten des Gases aus dem Zählrohr strömt das Gas durch die an der Zählrohrhalterung befestigte Wendel der Abgasleitung.

Anschließend fließen die beiden Gasgemische separat durch je einen Bubblersystem. Dieses Bubblersystem verhindert ein Eingasen von Verunreinigungen in das aktive Volumen des Zählrohres. Zusätzlich kann mit dem Bubblersystem der Gasfluß eingestellt werden. Es ist ein konstanter Gasfluß von ungefähr 20 cm^3 pro Minute eingestellt worden, dieser muß während der Messungen des öfteren nachgeprüft werden, weil der Gasfluß sich durch den abnehmenden Tankinhalt verändert. Um einen möglichst konstanten Gasfluß zu erhalten, wurde die Anzahl der Blasen pro Minute mehrmals am Tag gemessen und dokumentiert.

4.4 Auslese der Zählrohre

Die sechs an einem Gestell verschraubten, zu untersuchenden Zählrohre befinden sich zusammen mit der Elektronik in einem Faraday–Käfig.

4.4.1 Gasverstärkung

Die Signale der Zählrohre werden auf einen im Physikalischen Institut der Universität Heidelberg gefertigten rauscharmen Vorverstärker (VV49-2) (Abbildung 14) gegeben,

Abbildung 13: Gasversorgung von drei mit einem Gasgemisch gefüllten Zählrohre

welcher für den Einsatz im Meßstand modifiziert wurde. Der ursprünglich nicht ausreichende Verstärkungsfaktor des Vorverstärkers wurde durch den Austausch des Widerstands R 23 durch einen niederohmigeren Widerstand von 390 Ω erhöht. Durch die Basisschaltung des Transistors T1 ist der Vorverstärker selbst bei hohen kapazitiven Lasten rauscharm. Dies hat zur Folge, daß selbst lange Zuleitungen nur geringen Einfluß auf das Rauschen haben. Ferner besitzt der Vorverstärker eine Pulsformerstufe, so daß die abfallende Flanke steiler wird. Der Vorverstärker hat eine differentielle Treiberstufe für TWP (Twisted Pair) Kabel. Er erzeugt ein bipolares Signal.

Abbildung 15 zeigt das mit einem Speicheroszilloskop aufgenommenes Signal einer ^{55}Fe-Ouelle. Die Anstiegsflanke beträgt ungefähr 18 ns und die Gesamtlänge des Signals ungefähr 80 ns. Das Spannungssignal hat eine Amplitude von ca. 200 mV. Der Verstärkungsfaktor des Vorverstärkers ist dabei so gewählt worden, daß für ein ionisierendes Teilchen der Eisenquelle eine mittlere Pulshöhe von 80 FADC Einheiten erreicht wird.
Dieser FADC Typ ist ein nichtlineares 8-bit FADC–System mit 16 Kanälen auf jeder Karte. Die Speichertiefe eines jeden Kanals beträgt 256 Byte. Die Wandlungsrate, mit der die Digitalisierung abläuft, beträgt 104 MHz. Das besondere am FADC 1001 ist seine nichtlineare Kennlinie (Abbildung 16), über die man auch für kleinere Signale eine gute relative Auflösung erhält. Durch die Nichtlinearität des FADC 1001 bekommt man in seinem dynamischen Bereich, der zwischen 50 und 2000 mV liegt, die Auflösung eines 10-bit FADC. Desweiteren besitzt der FADC 1001 einen analogen Eingang, auf denen bipolare Signale eingegeben werden, und einen analogen Ausgang, an dem das Eingangssignal unipolar anliegt.

Abbildung 14: Vorverstärker VV49–2

Die Digitalisierung des FADC 1001 wird mit einem Minikrontoller gestartet beziehungsweise gestoppt. Der Minikontroller hat keinen Zugriff auf den VME–Bus. Um eine Kommunikation zwischen dem FADC 1001 und dem Minikontroller zu ermöglichen, wurden beide Karten mit einem Stecker verbunden. Dieser ECL–Bus wurde auf der Backplane des Crates angebracht, die dazu erforderlichen Spannungen werden extern zugeführt.

Der Minikontroller kann in zwei verschiedenen Betriebsmoden arbeiten: Zum einen im common-start mode und zum anderen in dem auch hier verwendeten common-stop mode. Im common-stop mode startet der Minikontroller die Digitalisierung. Erst wenn ein Triggersignal am Eingang des Minikontrollers anliegt, wird die Digitalisierung gestoppt und aus dem FADC 1001 wird der Speicherinhalt ausgelesen, der eine zeitliche Tiefe von 2,461 μs hat.

Das installierte MAC-VEE (Microcomputer Applied to the Control of VME Electronic Equipment) Interface System bildet den Adreßraum des VME Crates in den Adreßraum des Apple Macintosh ab. Die Programmierung des Minikontrollers und der Zugriff auf den FADC 1001 erfolgt memory mapped.

4.4.2 Stromessung

Die Bestimmung des Stromes erfolgt über eine Spannungsmessung mit dem Analog Digital Converter (ADC). Dazu wird die Spannung , die über einen 1 MΩ Widerstand und dem 1 MΩ Eingangswiderstand des Analog Digital Converter (ADC) gegen Masse anliegt, gemessen. Die mittlels des ADCs aufgenommenen Spannungswerte werden

Abbildung 15: Das mit einem Speicheroszilloskop aufgenommene Signal der ^{55}Fe-Quelle

mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes

$$U = RI$$

zur Berechnung des Stromes genutzt, der Widerstand R ist in diesem Falle 0,5 MΩ. Aus dem so erhaltenen Strom läßt sich mittels

$$Q = It$$

die abgeflossene Ladung bestimmen, wobei t der der effektiven Strahlzeit entspricht. Auf diese Weise kann die akkumulierte Ladung, das heißt der über die Bestrahlungszeit integrierte Strom, ermittelt werden. Die auftretenden Alterungserscheinungen sind proportional zur Gesamtladung, die auf dem Zähldraht angesammelt worden ist, welche typischer in Coulomb pro Zentimeter angegeben wird.

Der ADC besitzt eine lineare Kennlinie, die vor Beginn der Messungen geeicht wurde. Hierfür sind dem ADC verschiedene Spannungen zugeführt und die dazugehörigen ADC–Werte notiert und graphisch dargestellt worden (siehe Abbildung 17).

4.5 Trigger

Für die Messungen der Pulshöhen und Pulsladungen wird eine ^{55}Fe-Quelle genutzt. Die abgestrahlten 5,9 keV Röntgenquanten der Quelle ionisieren dabei das Zählgas. Die Röntgenquanten werden dabei vollständig im Zählrohr absorbiert, so daß eine

Abbildung 16: Nichtlinare Kennlinie des FADC 1001 (aus [Wil94])

externe Triggerung, wie zum Beispiel mit Szintillatoren, nicht möglich ist. Deshalb wurde der Trigger aus dem Kammersignal selbst abgeleitet (Abbildung 18). Die Signale der Zählrohre gehen dabei nach Verlassen des Vorverstärkers auf den analogen Eingang des FADC 1001. Vom analogen Ausgang des FADC 1001 werden die Signale auf einen Diskriminator gegeben. Der Diskriminator macht aus dem erhaltenen Signal des FADCs ein standardisiertes logisches Signal. Der Diskriminator läßt dabei jedes Signal durch, daß oberhalb einer bestimmten Schwelle, der Triggerschwelle, liegt. Das logische NIM–Signal wird dann weitergegeben an den Gate Generator. Vom Gate Generator geht das logische NIM–Signal dann zum Triggereingang des Minikontrollers.

4.6 Probleme bei dem Aufbau und bei der Inbetriebnahme des Teststandes

4.6.1 Eliminierung von äußeren Störsignalen

In der ursprünglichen Auslesekette befand sich unmittelbar am analogen Eingang des FADCs ein zweiter Vorverstärker. Bei der Inbetriebnahme der Auslesekette ist im FADC eine hohe Rate von Störsignalen registriert worden. Die Frequenz und die Pulshöhen der Störsignale waren so groß, daß eine Aufnahme von Spektren nicht möglich gewesen ist. Die Ursache der Störsignale war der Vorverstärker, der unmittelbar an dem analogen Eingang des FADC 1001 angebracht war, um die Signale soweit zu verstärken, daß diese im dynamischen Bereich des FADC 1001 lagen. Die Zugriffe

Abbildung 17: Lineare Kennlinie des ADC DL–625

des Apple–Macintosh auf die MAC–VEE–Karte sind durch den Vorverstärker(VV57) aufgenommen, verstärkt worden und in die Auslesekette gelangt. Die so registrierten Störsignale waren bis zu einem Faktor 7-10 größer als die zu erwartetenden Signale der ^{55}Fe-Quelle.

Um dieses Problem zu lösen sind verschiedene Möglichkeiten erprobt worden. So sind Blockkondensatoren sowohl auf die Backplane des Crates als auch direkt auf die MAC–VEE Karte gelötet worden. Die zusätzlichen Blockkondensatoren bewirkten jedoch keine Verbesserung.

Masseleitung sind mehrmals überprüft und verbessert worden, ohne daß die Störsignale beseitigt werden konnten.

Es war auf Grund der Struktur des Störsignals auch nicht möglich, die Triggerung so einzustellen, daß nicht auf das Störsignal getriggert wurde.

Die Ursache, daß der Vorverstärker diese Störungen verursachte, liegt im VME–Crate begründet. Für die Verwendung eines solchen Vorverstärker direkt am analogen Eingang des FADC ist ein spezielles Crate erforderlich, welches auf der Backplane eine ausreichend gute Abschirmung besitzt, so daß keine Störungen durch die Zugriffe des Apple–Macintosh auf das Crate übertragen werden können.

Schließlich ist auf den zweiten Vorverstärker ganz verzichtet worden. Deshalb mußte die Verstärkung der ersten Stufe so weit angehoben worden, daß das Signal der Eisenquelle in einen guten Meßbereich des FADCs fiel.

Abbildung 18: Aufgebaute Triggerschaltung

4.6.2 Gasfluß

Um Alterungseffekte möglichst schnell beobachten zu können, ist ein möglichst kleiner Gasfluß zu wählen. Dieser sollte ursprünglich so eingestellt werden, so daß die Zählrohre einmal pro Tag ihr Gasvolumen auswechseln, dieses würde ein Fluß von 0,0529 cm^3/min entsprechen. Für die Einstellung solch kleiner Flüsse ist ein fein justierbares Flußmeter erforderlich, welches nicht zur Verfügung stand. Draufhin sollten die Zählrohre einmal am Tag durchgespült und anschließend der Gasfluß abgedreht werden. Dies bewirkte eine rasche Abnahme der Pulshöhen. Vermutlich sind Eingasungen in das aktive Volumen der Zählrohre die Ursache für die Abnahmen der Pulshöhen. Um diese zu verhindern ist ein Bubblersystem, in die Abgasleitungen installiert worden. Alterungseffekte können nicht Ursache der Pulshöhenabnahme gewesen sein, weil zu diesem Zeitpunkt die Röntgenröhre noch nicht in Betrieb gewesen ist.

Abbildung 19: Das Zerfallsschema des ^{55}Fe (aus[Wer94])

5 Prinzip der Messung von Alterungseffekten

5.1 Meßprinzip der Gasverstärkung

Zur Messung der Gasverstärkung werden die Proportionalzählrohre mit einem ^{55}Fe-Präparat bestrahlt. Die ^{55}Fe-Quelle muß dazu unter jedes Rohr einzeln gelegt werden, weil die Zählrate und die Reichweite der Strahlung nicht ausreicht, um mehrere Zählrohre gleichzeitig zu bestrahlen.

Das ^{55}Fe-Präparat dient als Quelle ionisierender Strahlung. Die Eisenquelle ist ein monoenergetischer γ–Strahler. Durch Elektroneneinfang geht das ^{55}Fe in ^{55}Mn über. Die angeregten Mangankerne emittieren Photonen mit der Energie von 5,9 keV. Das Zerfallsschema des ^{55}Fe sieht wie in der Abbildung 19 aus. Die Wechselwirkung zwischen Zählgas und dem emittierten Photon erfolgt über den Photoeffekt. Es tritt dabei hauptsächlich eine Wechselwirkung mit dem Argonanteil des Zählgases auf, was seine Ursache darin hat, daß der Photoeffekt–Wechselwirkungsquerschnitt proportional zu Z^5 ist. Der Photoeffekt mit den anderen Gaskomponenten ist dabei vernachlässigbar. Beim Argon werden bevorzugt Elektronen aus der K-Schale emittiert, deren Bindungsenergie 3 keV beträgt. Somit läßt sich die Energie entstehender Photoelektronen aus

$$E_e = E_\gamma - E_B$$

berechnen.

E_e = Energie der Photoelektronen
E_γ = Energie des Röntgenquantes
E_B = Bindungsenergie
Die Photoelektronen haben also eine Energie von E_e = 2,9 keV.

Abbildung 20: Ladungsspektrum der ^{55}Fe–Quelle im Argon/Methan (x–Achse in willkürlichen Ladungseinheiten)

Durch Elektronenübergang wird die Lücke in der K-Schale des ionisierten Argons wieder aufgefüllt. Die dabei freiwerdende Energie gibt das Argon entweder als Augerelektron oder aber als Fluoreszenzphoton wieder ab.

Mit einer Wahrscheinlichkeit von 15% wird dabei ein Fluoreszenzphoton emittiert, das eine etwas kleinere Energie als die Bindungsenergie der Elektronen in der K-Schale hat. Das Fluoreszenzphoton hat bei den in diesem Meßstand verwendeten Gasen eine mittlere Reichweite von 28 mm. Daher ist es sehr wahrscheinlich, daß das Fluoreszenzphoton den Driftraum verläßt.

Der andere mögliche Prozeß ist ein strahlungsfreier Übergang. Bei diesem Effekt, dem Augereffekt, wird ein Elektron aus einer höheren Schale emittiert. Das sogenannte Augerelektron gibt seine Energie vollständig durch Ionisationsverluste an das Zählgas wieder ab. Dieser Prozeß hat eine Wahrscheinlichkeit von 85%.

Entsprechend den möglichen Wechselwirkungen der γ-Quanten mit dem Zählgas wird ein Spektrum mit zwei charakteristischen Linien erwartet. Die eine charakteristische Linie liegt bei 5,9 keV und die andere bei 2,9 keV. Die 2,9 keV Linie gehört zu der durch das Photoelektron deponierten Ladung im Zählgas und wird als Escape-Peak bezeichnet. Die 5,9 keV Linie ist die Mn_{α}-Linie und wird als Vollabsorptionslinie bezeichnet.

Der Verlauf der Auslese ist in dem Kapitel 4.4.1 schon beschrieben worden.

Abbildung 20 zeigt das typische Ladungsspektrum einer ^{55}Fe–Quelle in einem Argon/Methan (90/10) Gasgemisch. Um nun Aussagen machen zu können über etwaige Alterungsprozesse, muß die langfristige Entwicklung der Spektren beobachtet werden. Sind Verschiebungen der Ladungsspektren zu erkennen, ist dies ein Indiz für eine Veränderung der Gasverstärkung. Schlüsse aus der Verschiebung der Ladungsvertei-

lungen dürfen nur dann gezogen werden, wenn äußere Parameter, wie zum Beispiel die Hochspannung oder der Gasfluß, nicht verändert werden.

Um die Verschiebungen zu erkennen, wird in das Ladungsspektrum eine Gausskurve gefittet. Bei allen Untersuchungen wird dabei nur die Vollabsorptionslinie berücksichtigt. Der Gaussfit liefert die Schwerpunktslage der Peaks. Verschiebungen der Schwerpunktsladungen können somit sofort erkannt werden.

Aus Gründen der Stabilitätsüberprüfungen und um ausreichende Vergleichsmöglichkeiten zu erhalten, sind die Spektren der ^{55}Fe–Quelle mehrmals zwischen den Strahlzeiten der Röntgenröhre aufgenommen worden.

5.2 Meßanordung und Meßprinzip zur Strommessung

Die sechs im Faradayschen Käfig befindlichen Zählrohre werden gleichzeitig mit einer Röntgenröhre bestrahlt. Mit der Röntgenröhre wird wie schon erwähnt hohe Strahlenbelastung und hohe Zählraten simuliert. Es handelt sich um eine medizinische Röntgenröhre der Firma Physia. Die Röhrenspannung kann dabei stufenweise zwischen 30 und 70 kV eingestellt werden. Der Röhrenstrom ist auf 1 mA fest eingestellt. Für die Strahlleistung P einer Röntgenröhre gilt näherungsweise

$$P = const IZU^2$$

I = Röhrenstrom
U = Röhrenspannung
Z = Ordnungszahl des Kathodenmaterials, in unserem Fall Wolfram

Der größte Teil der bei dem Prozeß entstehenden Energie wird in Wärme umgewandelt. Daher folgt, daß die thermische Belastbarkeit den Betrieb der Röntgenröhre regelt. Abhängig vom Röhrenstrom und der Röhrenspannung müssen festgelegte Ruhezeiten eingehalten werden. Im Falle der hier angelegten 70 kV Röhrenspannung und dem 1 mA Röhrenstrom ist das Verhältnis von Arbeits- zu Ruhezeit 3 Stunden zu 5 Stunden. Somit waren nur zwei Strahlzeiten am Tag möglich.

Bei einer Röntgenröhre werden die von der geheizten Kathode emittierten Elektronen durch einen Wehneltzylinder auf die Anode fokussiert und dort abgebremst, wobei Röntgenstrahlen emittiert werden. Analog zu dem schon vorgestellten Mechanismus der ^{55}Fe-Quelle wechselwirken die Röntgenstrahlen mit dem Zählgas. Da ungefähr 10 mal mehr Elektronen als bei der Eisenquelle entstehen, steigt auch die Anzahl der produzierten Elektron–Ion–Paare.

Durch die sehr hohe Zählrate, welche stark abhängig von der Position der Zählrohre im Faraday–Käfig ist, können durch die Ausleseelektronik keine Einzelpulse mehr gezählt werden. Die Zählrate ist für das am weitesten unten angebrachte Zählrohr mit 1x10^5 Pulsen pro Sekunde am höchsten. Die geringste Zählrate von 0,2x10^5 hat das am weitesten oben befestigte Zählrohr. Abbildung 21 zeigt die mit einem Ratenzähler aufgenommenen Zählraten für jedes einzelne Zählrohr.

Abbildung 21: Die Zählraten für die einzelnen Zählrohre. Rohr Nr.1 ist das am weitesten oben befidliche, Rohr 6 das am weitesten unten befindliche Zählrohr

5.3 Stabilitäts– und Eichmessungen

Die Stabilität der Apparatur ist das wesentliche Kriterium, um einzelne Messungen miteinander vergleichen zu können. Für die Reproduzierbarkeit sind Stabilitätsmessung unverzichtbar.

Als wichtigster freier Parameter ist die Zusammensetzung des Zählgases selber zu nennen. Die prozentuale Zusammensetzung darf verständlicherweise nicht verändert werden. Eine prozentuale Veränderung der Gasmischung, würde eine Veränderung der Gasverstärkung nachsichziehen. Es wäre daher günstig auf ein und dasselbe Gas während der gesamten Langzeitmessung zurückzugreifen. Auf Grund des zu kleinen Tankinhaltes ist dies allerdings nicht möglich gewesen. Um den Einfluß des Neumischens zu beobachten, ist vor der Neumischung die Gasverstärkung gemessen worden und danach ohne zwischenzeitliches Bestrahlen erneut gemessen worden. Vor der Aufnahme der Signale sind die Zählrohre ungefähr 1 Stunde mit dem neugemischten Gas durchgespült worden. Abbildung 22 zeigt die Veränderung Gasverstärkung des neu gemischten Gases im Vergleich zur gemachte Referenzmessung. Auswirkungen des neuen Gasgemisches sind dabei nicht zu erkennen. Die Gasverstärkung ist innerhalb der Fehlergrenzen, die durch die anschließend beschriebene Stabilitätsmessung bestimmt worden sind, konstant.

Ein weiterer wichtiger freier Parameter ist der Gasfluß. Die Einstellung des Gasflusses kann direkten Einfluß auf die Alterung der Zählrohre nehmen. Veränderungen des Gasflusses infolge des abnehmenden Tankinhaltes sind korrigiert worden, so daß während der Langzeitmessungen ein konstanter Gasfluß eingestellt war.

Durch eine Neueinstellung des Gasflusses nach dem Neumischen des Gases, konnte

Abbildung 22: Einfluß des neuen Gasgemisches auf die relative Veränderung der Gasverstärkung, bezogen auf die Referenzmessung zu Beginn der Langzeitmessung

der frühere Wert nur ungenau reproduziert werden konnte.
Die Einstellung der Hochspannung ist ebenso bedeutsam, und wurde während der Langzeitmessung täglich überprüft und nicht verändert. Die Veränderung der Hochspannung wirkt sich unmittelbar auf die Gasverstärkung aus. Um diese Abhängigkeit zu zeigen, sind Messungen bei unterschiedlichen Hochspannungen aufgenommen worden. Die Abbildung 23 zeigt exemplarisch die relative Gasverstärkung für zwei unterschiedliche Hochspannungen in einem mit Argon/Isobuthan/Ammoniak betriebenen Zählrohr. Eine Verminderung der Hochspannung im Argon/Isobutan/Ammoniak–Gemisch betriebenen Zählrohr um 60V, von 1060V auf 1000V, reduziert die Gasverstärkung um nahezu 12%.
Der Druck und die Temperatur sind Parameter, deren Einfluß auf die Alterung nicht abschließend geklärt sind ([?, Vav86]. Eine im Labor befindliche Klimaanlage regelt die Temperatur auf 21,6 bis 23 Grad Celcius. Durch den Einsatz der Röntgenröhre erwärmte sich der Innenraum des Faraday–Käfigs um 0,1–0,2 Grad Celcius. Ladungsspektrenmessungen, die unmittelbar nach dem Ende der Strahlzeit der Röntgenröhre durchgeführt worden sind, sind mit Messungen kurz vor Ende der Ruhezeit der Röntgenröhre verglichen worden. Dieser Vergleich ergab keine signifikanten Veränderungen zwischen den beiden Messungen.
Inwieweit die Erwärmung der Röntgenröhre Einfluß auf die Strommessung nimmt, wird im folgenden untersucht. Es ist signifikant, daß nach längerem Betrieb der Röntgenröhre, das heißt nach 2 Stunden Strahlzeit, der Stromwert zwischen 2 und 6% niedriger liegt als zu Beginn der Strahlzeit und bis zu 7,5% unter den ADC–Werten, die zu Beginn der folgenden Strahlzeit registriert worden sind. Die Röntgenröhre verliert mit zunehmender Betriebsdauer an Leistung. Im weiteren Verlauf

Abbildung 23: Abhängigkeit der Gasverstärkung für zwei unterschiedliche Hochspannungen in einem Argon/Isobutan/Ammoniak–Gemisch. Links 1000V Rechts 1060V (m_2 gibt die Schwerpunktslage des Peaks an)

der Messung wurden jeweils zu Beginn, zur Hälfte und am Ende der Strahlzeit Daten aufgenommen. Abbildung 24 zeigt die zeitliche Entwicklung des Stromes im Zeitraum der Bestrahlung.
Um die Reproduzierbarkeit zu dokumentieren sind Stabilitätsmessungen durchgeführt worden. Exemplarisch dafür soll eine Messung, die an einem mit Argon/Isobutan-/Ammoniak–Gemisch gefülltem Zählrohr durchgeführt worden ist, vorgestellt werden.

Bei einem Zählrohr wurden Messung in einem Zeitraum von 17 Stunden durchgeführt. An keinem der weiter oben angeführten Parameter wurde etwas geändert. Während der 17 Stunden wurden die Zählrohre nicht mit der Röntgenröhre bestrahlt. In den Stabilitätsmessung ist die Positionierung der Eisenquelle sowohl längs als auch radial zum Zähldraht verändert worden. Die aufgenommenen Ladungsspektren zeigen, daß die Schwerpunktslage der Ladungsspektren unabhängig von der Positionierung der Eisenquelle ist. Es bleibt zu klären, inwieweit die Position der Eisenquelle unabhängig auf die Schwerpunktslage ist, wenn sich erste alterungsbedingte Erscheinungen bemerkbar machen. Die maximalen Abweichungen der Schwerpunktslagen der Ladungsspektren während der Stabilitätsmessungen beträgt 2,2% (siehe Abbildung 25). Abbildung 26 zeigt die relative Veränderung der Gasverstärkung im Zeitraum der Stabilitätsmessung.

5.4 Meßablauf

In diesem Abschnitt soll auf den Ablauf der Messungen, während der Langzeitmessung, eingegangen werden. Die Datennahme läßt sich in zwei Teile aufgliedern. Zum

Abbildung 24: Die zeitliche Entwicklung des Stromes im Verlauf einer Strahlzeit

Abbildung 25: Veränderung der Schwerpunkslage während der Stabilitätsmessung

Abbildung 26: Relative Veränderung der Gasverstärkung bezogen auf den Beginn der Stabilitätsmessung

einen in die Aufnahme der Pulshöhen–und Ladungsspektren mit der Eisenquelle, zum anderen in die Strommessung mit der Röntgenröhre.

5.4.1 Ladungs– und Pulshöhenmessung

Vor dem ersten Bestrahlen der Proportionalzählrohre durch die Röntgenröhre ist mit der ^{55}Fe–Quelle ein Referenzspektrum aufgenommen worden. Bezogen auf das Referenzspektrum soll die Gasverstärkung relativ bestimmt werden.

Für die Aufnahme der Spektren ist es notwendig die Eisenquelle unter jedes Zählrohr einzeln zu positionieren, dabei ist darauf zu achten, daß die Quelle bei jeder darauffolgenden Messung an der gleichen Stelle unter das Zählrohr gelegt wird. Somit wird verhindert, daß Veränderungen in den aufgenommenen Messungen, die abhängig von der Zähldrahtachse sind nicht zu falschen Rückschlüssen führen.

Grundsätzlich wird wenigstens eine Messung zwischen den Strahlzeiten der Röntgenröhre durchgeführt. Die Regel sind jedoch zwei oder mehr Messungen, eine davon mit 1000 Ereignissen und die weiteren zur Stabilitätsüberprüfung durchgeführten Messungen mit jeweils 500 Ereignissen. Eine feste zeitliche Differenz zwischen den einzelnen Aufnahmen der Spektren ist dabei nicht eingehalten worden. Stabilitätsüberprüfende Messungen sind sowohl unmittelbar nach der ersten Messung, als auch unmittelbar vor dem Beginn der nächsten Strahlzeit der Röntgenröhre, durchgeführt worden.

5.4.2 Strommessung

Die Röntgenröhre wurde, sofern es möglich ist, zweimal am Tag eingesetzt. Nur bei Stabilitätsmessungen, die sich über 24 Stunden hinziehen können, ist die Röntgenröhre nur einmal am Tag eingestzt worden.

Die effektive Strahlzeit der Röntgenröhre beträgt 2,5 Stunden.

Die ADC–Werte für die Strommessung werden zu Beginn, nach der Hälfte und am Ende der Strahlzeit registriert. Bei der Registrierung wird über 500 ADC–Werte gemittelt, um so den statistischen Fehler klein zu halten

.

6 Gase und Erste Ergebnisse

In dem nun folgenden Kapitel soll die Gasauswahl näher erläutert werden, die beiden verwendeten Gasgemische Argon/Methan und Argon/Isobuthan/Ammoniak werden vorgestellt.
Außerdem soll auf die ersten Meßergebnisse, die durch Photographien der bestrahlten Anodendrähte ergänzt werden, nach ungefähr 21 Stunden Strahlzeit mit der Röntgenröhre eingegangen werden.

6.1 Argon/Methan (90%/10%)

Zum Argon/Methan existieren bereits ausführliche Untersuchungen [Bog69], so daß sich dieses Gasgemisch im besonderen als Referenzgasgemisch anbietet. Ein Referenzgas wird benötigt, weil, wie im Kapitel über Alterung schon erwähnt wurde, sich die gewonnenen Ergebnisse nicht ohne weiteres auf andere Experimente übertragen lassen.

Argon/Methan wird und wurde wegen der sehr guten Quenchingeigenschaften des Methans als Zählgasmischung benutzt. Die hohe Elektronenbeweglichkeit in Edelgas/Methan–Gemischen erlaubt eine sehr gute Energieauflösung [Smi82].

Dieser Vorteil des Methans als gutes Quenchinggas wird durch die bekannte Tendenz des Polymerisierens in Anodendrahtnähe wieder aufgehoben.

Untersuchungen [Bog69] zeigten, daß ein Zusammenhang zwischen Veränderungen der Pulshöhenverteilung und Ablagerungen an dem Anodendraht besteht. Bei diesen Untersuchungen wurde mit zunehmender Zeit eine asymetrische Pulshöhenverteilung beobachtet. Das erste Anzeichen, das auf Alterung schließen ließ, war eine Verschlechterung der Auflösung. Anschließend kamen die erwähnten Asymetrien in der Pulshöhenverteilung und letztendlich die Entwicklung eines zweiten Hauptpeaks in der Pulshöhenverteilung.

Für den späteren Einsatz in der BDC (Backward Driftchamber) ist dieses Gasgemisch nicht geeignet. Am Physikalischen Institut der Universität Heidelberg sind diesbezüglich Untersuchungen [Wil94] gemacht worden, die gezeigt haben, daß im Argon/Methan die Driftgeschwindigkeit stark abhängig von der Feldstärke ist. Durch die zusätzliche bekannte Tendenz des Methans, in der Nähe des Anodendrahtes zu polymerisieren, und die damit einhergehenden Ablagerungen, erwartet man ein schnelles Versagen des Zählrohres. Argon/Methan Mischungen zeigen bei Ladungsablagerungen ab 0,05 C/cm Alterungseffekte [Gru93].

6.2 Argon/Isobutan/Ammoniak (92,5%/5%/2,5%)

An dem Argon/Isobutan/Ammoniak (92,5%/5%/2,5%) sind ebenso am Physikalischen Institut der Universität Heidelberg Untersuchungen durchgeführt worden [Wil94].

Abbildung 27: Abhängigkeit der Driftgeschwindigkeit von der Feldstärke im Argon/Methan (aus [Wil94])

Das Gasgemisch zeichnet sich durch gute Zähleigenschaften und durch hohe Gasverstärkungen, die schon bei relativ kleinen Hochspannungen erreicht werden können. Das Argon/Isobuthan/Ammoniak (92,5%/5%/2,5%) besitzt keine großen Drifgeschwindigkeiten. Ein weitere Folge des Ammoniakanteils ist die Verkleinerung des Lorentzwinkels.
Vom Ammoniak erwartet man weiterhin, daß es mit dem Kohlenwasserstoffanteil im Gasgemisch reagiert und auf diese Weise Ablagerungen an dem Anodendraht verhindert. Genau diese erwartete Eigenschaft soll mit dem in dieser Arbeit aufgebauten Meßstand untersucht werden.
Das Isobutan findet wegen seiner sehr guten Quenchingeigenschaften häufige Verwendung. Isobutan absorbiert Photonen im ultravioletten Bereich und reduziert die Reichweite der Photonen auf einige Anodendrahtradien. Die Ausbreitung der Entladungen erfolgt wegen der kurzen Reichweite nur in unmittelbarer Nähe des Anodendrahtes. Wie schon im Alterungskapitel erwähnt, wächst mit der Anzahl der Atome im Quenchinggas auch die Effizienz des Quenchingmechanismus. Isobutan wirkt für den Lawinenprozeß stabilisierend.
Jüngste Untersuchungen [Ker94] ergaben, daß auch beim Argon/Isobutan/Ammoniak–Gemisch die Driftgeschwindigkeit stark vom elektrischen Feld abhängig sind. Diese Untersuchungen sind nicht bei angelegten Magnetfeldern durchgeführt worden, die sehr stark das Driftverhalten von Gasen beeinflußen. Die Abbildung 28 zeigt die Abhängigkeit der Driftgeschwindigkeit vom elektrischen Feld.

Abbildung 28: Abhängigkeit der Driftgeschwindigkeit von der Feldstärke im Argon/Isobutan/Amoniak (aus[Ker94])

6.3 Erste Meßergebnisse

Die Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse soll in zwei Abschnitte unterteilt werden. Zunächst wird auf die Veränderung der Gasverstärkung, und im darauffolgenden Abschnitt wird auf die Strommessung eingegangen. Die Messungen sowohl bei der relativen Bestimmung der Gasverstärkung als auch bei der Strommessung sind im Argon/Methan bei 1300V und beim Argon/Isobutan/Ammoniak bei 1060V durchgeführt worden.

6.3.1 Gasverstärkung

Eine absolute Bestimmung der Gasverstärkung ist mit dem aufgebautem Meßstand nicht durchgeführt worden. Es ist aber dennoch grundsätzlich von Interesse, die Gasverstärkung größenordnungsmäßig zu kennen. Mit Hilfe der Zählrate, der Stahlzeit, der Elementarladung und der abgeflossenen Ladung kann die Gasverstärkung abgeschätzt werden. So ergibt sich für die mit Argon/Methan (90%/10%) betriebenen Zählrohre eine ungefähre Gasverstärkung von $1{,}7 \times 10^4$, und für die mit Argon/Isobutan/Ammoniak(92,5%/5%/2,5%) betriebenen Zählrohre eine ungefähre Gasverstärkung von $2{,}2 \times 10^4$.

Aus der Abbildung 29 kann die relative Veränderung der Gasverstärkung in einem mit Argon/Methan, in Abbildung 30 in einem mit Argon/Isobutan/Ammoniak betriebenem Zählrohr entnommen werden. Die beiden dabei zu betrachtenden Zählrohre sind die mit der höchsten Zählrate des Meßstandes.
Beim Argon/Isobutan/Ammoniak ist dabei zu beobachten, daß die Gasverstärkung in den ersten 18,07 Stunden Strahlzeit innerhalb der durch die Stabilitätsmessung ge-

Abbildung 29: Relative Veränderung der Gasverstärkung in einem mit Argon/Methan betriebenen Zählrohr

Abbildung 30: Relative Veränderung der Gasverstärkung in einem mit Argon/Isobutan/Ammoniak betriebenen Zählrohr

Abbildung 31: Relative Veränderung der Gasverstärkung in einem mit Argon/Isobutan/Ammoniak betriebenen Zählrohr mit geringerer Strahlenbelastung

gebenen Fehlergrenzen von 2% konstant bleibt. Nach 21,06 Stunden Strahlzeit sinkt die Gasverstärkung um nahezu 7%.

Ein Vergleich mit einem weniger bestrahltem Zählrohr zeigt (siehe Abbildung 31), daß der Rückgang der Gasverstärkung unabhängig von der Bestrahlungsintensität ist. Auch bei dem weniger bestrahlten Zählrohr ist ein Rückgang der Gasverstärkung um 7% zu beobachten. Zum anderen zeigt eine visuelle Untersuchung des Anodendrahtes unter einem Mikroskop mit 100 facher Vergrößerung keine Anzeichen von Ablagerungen (siehe Abbildung 32).

So läßt sich der Rückgang der Gasverstärkung wohl nur auf Veränderungen des Gassystems zurückführen. Eine Ursache kann eine Veränderung des Gasflusses sein, dieser mußte nach dem Neumischen des Gases mehrmals wieder neu eingestellt werden. Durch die schwer durchzuführende exakte Justierbarkeit des Gasflusses kann beim Einstellen ein Fehler von 5% auftreten.

Bei dem mit Argon/Methan betriebenem Zählrohr hingegen weicht der letzte Meßpunkt signifikant nach oben ab (7%). Davor ist auch die Gasverstärkung innerhalb der Fehlergrenzen konstant. Hier zeigt ein Vergleich mit einem weniger bestrahltem Zählrohr, siehe Abbildung 33, daß die gleichen Beobachtungen wie bei dem stärker bestrahltem Zählrohr zu machen sind. Auch in diesem Zählrohr steigt die Gasverstärkung beim letzten Meßpunkt um 7% an. Die Vermutung, liegt nahe, daß hier ebenso Veränderungen im Gassystem, die Veränderungen der Gasverstärkung hervorrufen. Eine visuelle Inspektion des Anodendrahtes, siehe Abbildung 34, zeigt keine Ablagerungen an dem Zähldraht. Eine endgültige Klärung kann in beiden Fällen nur durch weitere Messungen erreicht werden.

Abbildung 32: Aufnahme des Anodendrahtes, eines mit Argon/Isobutan/Ammoniak betriebenen Zählrohres

Abbildung 33: Relative Veränderung der Gasverstärkung in einem mit Argon/Methan betriebenen Zählrohr mit geringerer Strahlenbelastung

Abbildung 34: Aufnahme des Anodendrahtes, eines mit Argon/Methan betriebenen Zählrohres

6.3.2 Strommesseung

In den Abbildungen 35 und 36 ist der Stromverlauf für das jeweils am stärksten bestrahlte Argon/Methan und Argon/Isobutan/Ammoniak Zählrohr in Abhängigkeit von der Strahlzeit dargestellt.

Sowohl in den mit Argon/Methan als auch in den mit Argon/Isobutan/Ammoniak betriebenen Zählrohren ist keine einheitliche Tendenz des Stromverlaufes in Abhängigkeit von der Strahlzeit zu erkennen. Ein Fehler läßt sich nur sehr schwer abschätzen, weil der Strom nicht nur durch die Gasverstärkung, sondern auch durch die Aktivität Röntgenröhre bestimmt wird, die relativ starken Schwankungen unterliegt.

In den Abbildungen 37 und 38 sind die abgeflossenen Ladungen in Abhängigkeit zur Strahlzeit aufgetragen. Die insgesamt abgeflossene Ladung über den Anodendraht in einem mit Argon/Methan betriebenen Zählrohr, bei einer Zählrate von $1x10^5$ und einer Bestrahlungszeit von 21,06 Stunden beträgt $14{,}0x10^{-3}$C. Die insgesamt abgeflossene Ladung in einem mit Argon/Isobutan/Ammoniak durchströmten Zählrohr bei gleicher Strahlzeit und mit einer Zählrate von $1x10^5$ beträgt $17{,}5x10^{-3}$ C.

6.4 Zusammenfassung

Die Gasverstärkung blieb innerhalb der Fehlergrenzen konstant. Die Veränderungen, die aufgetreten sind, sind vermutlich zurückzuführen auf Veränderungen im Gassystem. Auch bei einer optische Untersuchung der Zähldrähte konnten keine Ablagerungen beobachtet werden. Daraus folgt, daß sowohl beim Argon/Methan, als auch beim Argon/Isobutan/Ammoniak keine Alterungseffekte aufgetreten sind.

Abbildung 35: Stromessung in Abhängigkeit der Strahlzeit in einem mit Argon/Methan betriebenen Zählrohr

Abbildung 36: Stromessung in Abhängigkeit der Strahlzeit in einem mit Argon/Isobutan/Ammoniak betriebenen Zählrohr

Abbildung 37: Abgeflossene Ladung in Abhängigkeit der Strahlzeit in einem mit Argon/Methan betriebenen Zählrohr

Abbildung 38: Abgeflossene Ladung in Abhängigkeit der Strahlzeit in einem mit Argon/Isobutan/Ammoniak betriebenen Zählrohr

Die Ströme waren nicht konstant, weil die Röntgenröhre nicht über die ganze Strahlzeit die gleiche Intensität gehabt hat.

Die von den Anodendrähten abgeflossene Ladung für die am stärksten bestrahlten Zählrohre ist beim Argon/Methan–Gemisch (90%/10%), bei einer Zählrate von $1x10^5$ und einer angelegten Hochspannung von 1300V $14x10^{-3}$C, beim Argon/Isobutan/Ammoniak–Gemisch (92,5%/5%/2,5%) bei einer Zählrate von $1x10^5$ und einer angelegte Hochspannung von 1060V $17{,}5x10^{-3}$C.

Abschließende Aussagen über das Alterungsverhalten der Gase, insbesondere des Argon/Isobutan/Ammoniak Gasgemisches, können nicht gemacht werden.

7 Abschlußbemerkung

7.1 Diskussion der Ergebnisse

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist ein Meßstand aufgebaut worden, der es ermöglicht, Alterungstests an verschiedenen Driftgasen vorzunehmen. Es sind speziell für die Alterungstests konstruierte Proportionalzählrohre, die sich durch eine abschiebbare Kathode auszeichnen, zum Einsatz gekommen. Bei der Ausleseelektronik konnte auf ein schon vorhandenes rechnergsteuertes Datennahmesystem zurückgegriffen werden.

Ein stabiler Verlauf der ersten Langzeitmessung konnte gewährleistet werden. Für diese Langzeitmessung sind Untersuchungen an zwei Gasgemischen durchgeführt worden: Zum einen an dem als Referenzgas fungierenden Argon/Methan(90%/10%) und zum anderen am Argon/Isobutan/Ammoniak(92,5%/5%/2,5%). Auf Grund der konstanten Gasverstärkung, und auch der optischen Beobachtung der Anodendrähte konnte keine Alterung bei den Proportionalzählrohren beobachtet werden .

Bei den Strommessungen ist keine einheitliche Tendenz zu beobachten. Ein Fehler läßt sich dabei nur sehr schwer abschätzen, weil die Intensität der Röntgenröhre während den Strahlzeiten nicht konstant gewesen ist.

7.2 Ausblick

Für den Test verschiedener in Frage kommender Driftgase, sind Alterungstests notwendig und daher wird dieser Meßstand auch weiter genutzt [Hop94]. Es ist jedoch sinnvoll Verbesserungen an dem Meßstand vorzunehmen.

So muß es ein Ziel sein, die Gasverstärkung deutlich zu erhöhen. Während der Testmessung ist beobachtet worden, daß der Vorverstärker (VV49-2) in Sättigung geht, daraufhin mußte die Hochspannung heruntergeregelt werden und somit ein Verlust in der Gasverstärkung in Kauf genommen werden. Kurzfristig kann dieses Problem durch Erhöhen der Hochspannung während der Bestrahlung mit der Röntgenröhre gelöst werden. Langfristig ist es sinvoller, entweder den Verstärkungsfaktor des Vorverstärkers (VV49-2) zu senken oder aber einen neuen Vorverstärker zu benutzen, mit dem es dann auch möglich wäre die Gasverstärkung absolut zu bestimmen.

Ein weiteres Problem stellt die beutzte Röntgenröhre dar , die für einen Einsatz in diesem Experiment nicht geeignet ist. Der Wirkungsquerschnitt für den Photoeffekt eines Elektrons aus der K–Schale ist gegeben durch [Gri88]

$$\sigma_k = 6,65110^{-21}\, 4\sqrt{2}\frac{Z^5}{137^4}(\frac{m_e c^2}{h\nu})^{7/2}.$$

Z = Ordnungszahl
h = Plancksche Wirkungsquantum
m_e = Masse des Elektrons

Es ist dabei eine deutliche Abhängigkeit des Wirkungsquerschnittes von der Ordnungszahl Z und von der Gammaenergie zu erkennen. Für die in der Röntgenröhre

verwendeten Wolfram Kathode ergibt sich nach dem Moselyschen Gestz ([Ger82])

$$\nu = \frac{3}{4}R(Z-1)^2$$

R = Rydbergkonstante

Dies ergibt für die Gammaenergie einen Wert von annähernd 55 keV. Mit einer solch hohen Gammaenergie wird der Wirkungsquerschnitt sehr klein. Daher muß überlegt werden, ob nicht eine andere Röntgenquelle für weitere Untersuchung benutzt wird.

Ferner wäre es sinnvoll eine 'Monitorkammer' zu betreiben, die nicht bestrahlt wird, so daß Instabilitäten im Gassystem sofort festgestellt werden können.

Abbildungsverzeichnis

1 Das zylindrische Proportionalzählrohr und die 1/r–Abhängigkeit des elektrischen Feldes (aus [Sau87]) 5
2 Die Zeitliche und räumliche Entwicklung eines Lawinenprozesses (aus [Gru93]) 6
3 Gasverstärkung als Funktion der angelegten Spannung (aus [Sau87]) . 7
4 Pulsform nach der RC–Differentiation des Spannungssignales mit verschiedenen Zeitkonstanten τ. Die Zeiten sind in ns angegeben (aus [Leo87]) 11
5 Schematische Darstellung einer Polymerkette (aus [Wms86]) 14
6 Reaktionen des Methans im Plasma (aus [Hes86]) 16
7 Bindungsenergien von kovalenten Bindungen, Trennungs und Ionisationsenergien von einigen Gasen (aus[Vav86]) 17
8 Schematische Darstellung von Polymeren an der Anodenoberfläche (aus [Vav86] 18
9 Struktur von Wasser, Alkohol, Ether und Methylal (aus[Vav86]) . . . 21
10 Beispiele der chemischen Zusammensetzung einiger typischer Gasschläuche (aus [Vav86]) 23
11 Aufbau des Teststandes (dargestellt für nur ein Zählrohr) 25
12 Aufbau der Zählrohre 26
13 Gasversorgung von drei mit einem Gasgemisch gefüllten Zählrohre . . 28
14 Vorverstärker VV49–2 29
15 Das mit einem Speicheroszilloskop aufgenommene Signal der ^{55}Fe-Quelle 30
16 Nichtlinare Kennlinie des FADC 1001 (aus [Wil94]) 31
17 Lineare Kennlinie des ADC DL–625 32
18 Aufgebaute Triggerschaltung 33
19 Das Zerfallsschema des ^{55}Fe (aus[Wer94]) 34
20 Ladungsspektrum der ^{55}Fe–Quelle im Argon/Methan (x–Achse in willkürlichen Ladungseinheiten) 35
21 Die Zählraten für die einzelnen Zählrohre. Rohr Nr.1 ist das am weitesten oben befidliche, Rohr 6 das am weitesten unten befindliche Zählrohr 37
22 Einfluß des neuen Gasgemisches auf die relative Veränderung der Gasverstärkung, bezogen auf die Referenzmessung zu Beginn der Langzeitmessung 38
23 Abhängigkeit der Gasverstärkung für zwei unterschiedliche Hochspannungen in einem Argon/Isobutan/Ammoniak–Gemisch. Links 1000V Rechts 1060V (m_2 gibt die Schwerpunktslage des Peaks an) 39
24 Die zeitliche Entwicklung des Stromes im Verlauf einer Strahlzeit . . 40
25 Veränderung der Schwerpunkslage während der Stabilitätsmessung . . 40
26 Relative Veränderung der Gasverstärkung bezogen auf den Beginn der Stabilitätsmessung 41

27 Abhängigkeit der Driftgeschwindigkeit von der Feldstärke im Argon/Methan (aus [Wil94]) 44
28 Abhängigkeit der Driftgeschwindigkeit von der Feldstärke im Argon/Isobutan/Amoniak (aus[Ker94]) 45
29 Relative Veränderung der Gasverstärkung in einem mit Argon/Methan betriebenen Zählrohr 46
30 Relative Veränderung der Gasverstärkung in einem mit Argon/Isobutan/Ammoniak betriebenen Zählrohr 46
31 Relative Veränderung der Gasverstärkung in einem mit Argon/Isobutan/Ammoniak betriebenen Zählrohr mit geringerer Strahlenbelastung 47
32 Aufnahme des Anodendrahtes, eines mit Argon/Isobutan/Ammoniak betriebenen Zählrohres 48
33 Relative Veränderung der Gasverstärkung in einem mit Argon/Methan betriebenen Zählrohr mit geringerer Strahlenbelastung 48
34 Aufnahme des Anodendrahtes, eines mit Argon/Methan betriebenen Zählrohres 49
35 Stromessung in Abhängigkeit der Strahlzeit in einem mit Argon/Methan betriebenen Zählrohr 50
36 Stromessung in Abhängigkeit der Strahlzeit in einem mit Argon/Isobutan/Ammoniak betriebenen Zählrohr 50
37 Abgeflossene Ladung in Abhängigkeit der Strahlzeit in einem mit Argon/Methan betriebenen Zählrohr 51
38 Abgeflossene Ladung in Abhängigkeit der Strahlzeit in einem mit Argon/Isobutan/Ammoniak betriebenen Zählrohr 51

Literatur

[Blo33] F. Bloch: *Zur Bremsung rasch bewegter Teilchen beim Durchgang durch Materie*, in: Analen der Physik, Folge 5, Band 16 (1933)

[Bog69] A.J.F. Boggende: *Comments on the effect of gas–filled proportional counters*, in: Journal of Scientific Instruments 1969 Series 2 Volume 2

[Cha72] G. Charpak: *Time Degeneracy of Multiwire Proportional Chambers*, in: Nuclear Instruments and Methods 99 (1972) pg. 279-284

[Eis94] F. Eisele: persönliche Mitteilung

[Fis85] J. Fischer: *Proportional Chambers For Very High Countings Rates Based on Gas Mixtures Of CF_4 With Hydroncarbons*, in: Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A238 (1985) pg. 249–264

[Ger82] C. Gerthsen: *Physik*, (Springer–Verlag Berlin Heidelberg New York 14.Auflage 1982)

[Gri88] E. Grimsehl: *Lehrbuch der Physik Band 4 Struktur der Materie* (BSB B.G. Teubner Verlagsgesellschaft 1988)

[Gru93] C. Grupen: *Teilchendetektoren*, (Wissenschaftsverlag 1993)

[Hes86] D.W. Hess: *Plasma Chemistry in Wire Coatings*, in: *Proceedings of the Workshop on Radiation Damage to Wire Chambers*, LBL University of Carlifornia 1986

[Hop94] W. Hoprich: Diplomarbeit in Vorbereitung

[Ker94] H.J. Kersten: Diplomarbeit, Physikalisches Institut der Universität Heidelberg

[Kot86] R. Kotthaus: *A Laboratory Study of Radiation Damage to Drift Chambers*, in: *Proceedings of the Workshop on Radiation Damage to Wire Chambers*, LBL University of Carlifornia 1986

[Leo87] W.R. Leo: Techniques for nuclear and Particle Physics Experiments (Springer–Verlag Berlin 1987)

[Mal36] L.Malter: Phys.Rev. 50 (1936) 48

[Per87] D.H. Perkins: *Introduction to High Energy Physics* (Addison–Wesley Publishing Co., Menlo Park CA. 1987)

[Sad81] B. Sadoulet: *Fundamental Processes in Drift Chambers*, in: Physia Scripta. Vol.23, pg.434–445, 1981

[Sau86] F. Sauli: *WhenEverything Was Clear*, in *Proceedings of the Workshop on Radiation Damage to Wire Chambers* LBL University of Carlifornia 1986

[Sau87] F. Sauli: *Principles of operation of Multiwire Proportional and Drift Chamber* in: *Experimental Techniques in High Energy Physics*, Ed. T. Ferbel (Addison–Wesley Publishing Co., Menlo CA. 1987)

[Sch94] B. Schmidt: persönliche Mitteilung

[Smi82] A.Smith: *Liftime Of Proportional Counters Filled With Xenon–Methane And Argon–Methane*, in: Nuclear Instruments and Methods 192 (1982) pg. 475–481

[Vav86] J. Va'vra: *Review of Wire Chamber Aging*, in: *Proceedings of the Workshop on Radiation Damage to Wire Chambers*, LBL University of Carlifornia 1986

[Wil94] R. Wilhelm: *Aufbau eines Teststandes zur Auslese von Testkammern für die Rückwärtsdriftkammer (BDC) des H1–Experimentes und Bestimmung von Betriebsparametern mit verschiedenen Driftgasen*, Diplomarbeit , Physikalisches Institut der Universität Heidelberg (1994)

[Wms86] M.C. Williams: *Analysis of TPC Inner Driftchamber Wire Coatings*, in: *Proceedings of the Workshop on Radiation Damage to Wire Chambers*, LBL University of Carlifornia 1986

[Wer94] U. Werthenbach: Systematische Untersuchungen zur Funktion von Mikrostreifengaszählern, Dissertation, Universität–Gesamthochschule–Siegen (1994)

[Yas85] H. Yasuda: *Plasma Polymerisation* Academic Press Inc., New York, 1985

Danksagung

Viele haben mich bei der Durchführung dieser Arbeit unterstützt. All jenen möchte ich ganz herzlich Dank sagen.

Besonders Danken möchte ich aber

Herrn Prof. Eisele für die Betreung dieser Staatsexamensarbeit, für die sehr guten Arbeitsmöglichkeiten, und für das Interesse das er an mir und meiner Arbeit jederzeit entgegenbrachte.

Herrn Dr. Martin Feuerstack der sich jederzeit um mich bemühte und mir in allen Bereichen dieser Arbeit wertvolle Hinweise und Hilfen gab, und der unermüdlich bei der Auffindung von Programmierfehlern war.

Allen Wissentschaftlichen Mitarbeitern, Doktorandinnen, Doktoranden und Diplomanten der H1–Gruppe für Ihre Hilfs–und Diskusionsbereitschaft.

Meinen Eltern die es mir ermöglichen diese Arbeit geschrieben zu haben.