Fakultät für Physik und Astronomie

Ruprechts-Karls-Universität Heidelberg

Diplomarbeit
im Studiengang Physik

vorgelegt von
Adrian Dilo
aus Eberbach

Juni 1995

Bau eines Teststandes für Mikrostreifen Gaskammern unter hochreinen Gasbedingungen und Bestimmung von Betriebsparametern für die Anwendung beim Experiment HERA-B

Die Diplomarbeit wurde von Adrian Dilo ausgeführt am
Physikalischen Institut
unter der Betreuung von
Herrn Prof. Dr. F. Eisele

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von April 1994 bis Juni 1995 am Physikalischen Institut der Universität Heidelberg angefertigt. An dieser Stelle möchte ich allen danken, die diese Arbeit mit möglich gemacht haben. Besonderer Dank gilt der HERA-B Gruppe am Physikalischen Institut.

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1

Einleitung

Im Mai 1994 wurde ein Experimentiervorschlag für den HERA-Beschleuniger des DESY in Hamburg vorgelegt [PROP]. Der Titel lautet : HERA-B An Experiment to Study CP Violation in the B System Using an Internal Target at the HERA[1] Proton Ring. Dieses Proposal wird von einer Kollaboration mehrerer deytscher Universitäten wie auch internationaler Forschungseinrichtungen [2] und Hochschulen getragen.

In der Zwischenzeit ist das Experiment genehmigt. Ziel des Experimentes ist letztlich, vereinfachend gesagt, die Überprüfung des Standardmodells bezüglich der Beschreibung der CP Verletzung. Der Zerfall B^0 bzw. $\overline{B}^0 \longrightarrow J/\psi K_s^0$ steht hierbei an herausragender Stelle.

Bei HERA kann durch das Einbringen eines Fixed Target [3] in den Strahl-Halo eine Rate von bis zu $10^9 B$-Hadronen pro Jahr erreicht werden.

B-Mesonen und andere Sekundärteilchen sind in einem Kegel um die Strahlachse konzentriert. Sämtliche Detektorkomponenten sind in diesem Kegel angeordnet. Das Spektrometer, bestehend aus Spurkammern und Magnet, dient zur Bestimmung des Impulses der Teilchen. Die Spurkammern im inneren Bereich (Inner Tracker) des Spektrometers sollen aus Mikrostreifen-Gaskammern (MSGC) aufgebaut werden. Die MSGC ist ein relativ neuer Kammertyp und wurde 1988 zum erstenmal vorgestellt [OED2].

Das Experiment stellt einige große Herausforderungen an die Kollaboration. Hauptsächlich sind dies die :

- Sehr hohe Wechselwirkungsrate (größer 30 MHz)

[1] Hadron-Elektron-Speicherring-Anlage. Hochenergie-Speicherring des DESY der im Juni 1992 in Betrieb ging.

[2] z.B.: UCLA, University of Massachusetts, Institute of Theoretical and Experimental Physics Moscow u.s.w.

[3] Dies sind im wesentlichen Metallbügel aus Kupfer oder Aluminium, die in das evakuierte Strahlrohr, die Beam Pipe, eingebracht werden und im äußeren Bereich des Protonenstrahls, dem Halo, den Protonen als Ziel dienen.

- Dementsprechend eine sehr hohe Teilchendichte und Strahlenbelastung der Detektoren
- Unterdrückung des Untergrundes um einen Faktor 10^4 im Trigger
- Rekonstruktion der B-Zerfälle mit Verzweigungsverhältnissen von $\approx 10^{-5}$ und Erzeugungsraten von $\approx 10^{-6}$ des totalen inelastischen Wirkungsquerschnittes.

So heißt es dazu in dem Proposal : “It also would pioneer a new field of experimental research “.

Kapitel 2

Grundlagen des HERA-B Experiments und die Anforderungen an das MSGC-System

2.1 Eigenschaften der B-Mesonen

Mesonen sind gebundene Zustände von Quarks und Antiquarks. B-Mesonen haben folgende Flavours :

$\overline{B}^0(b\overline{d})$	$B^0(\overline{b}d)$
$B^-(b\overline{u})$	$B^+(\overline{b}u)$
$\overline{B}^0_s(b\overline{s})$	$B^0_s(\overline{b}s)$

Die Wirkungsquerschnitte für die Erzeugung der auch noch möglichen Kombinationen von b bzw. $\overline{b}$ mit Charmflavour sind um den Faktor 1000 kleiner und werden hier nicht betrachtet. Bei den Energien, die HERA zur Verfügung stellt, entstehen B-Mesonen vornehmlich aus Gluon-Fusionsprozessen. Ihre mittlere Lebensdauer beträgt $\approx 10^{-13}s$ und ihre Masse beträgt ca. 5 GeV. B-Mesonen zerfallen bevorzugt in andere Mesonen mit Strangeness ($b \rightarrow s$).Ein wichtiger Zerfall ist der *golden plated mode:* $B^0 \longrightarrow J/\psi K^0_s$. J/ψ besteht aus dem gebundenen Zustand $c\overline{c}$. J/ψ zerfällt zu 14% weiter in ein Leptonenpaar l^+l^- und K^0_s zerfällt zu 2/3 in $\pi^+\pi^-$. Ein Maß für die CP-Verletzung ist im Experiment ist dabei das zeitabhängige Verhältnis der Übergangsraten von B und $\overline{B}$ in denselben Endzustand $J\psi K_0^s$ [PROP]. Es muß daher auch noch festgestellt werden, ob ein B^0 oder ein $\overline{B}^0$ zerfallen ist. Dies kann sehr effizient durch die Ladung des Leptons in den semileptonischen Zerfällen $b \rightarrow c + e^- \overline{\nu}_e$ bzw. $\overline{b} \rightarrow \overline{c} + e^+ \overline{\nu}_e$ getan werden. Dieser Vorgang wird *tagging* genannt.

Die Rekonstruktion eines *golden plated* $-$ B-Zerfalls wird vereinfacht folgendermaßen verwirklicht:

- Zurückführung der Spur der Leptonen $l^+ l^-$ auf einen Sekundär-Vertex und Rekonstruktion der J/ψ Masse.
- Gleiches für den K_s^0 Zerfall
- Rekonstruktion der B^0-Masse

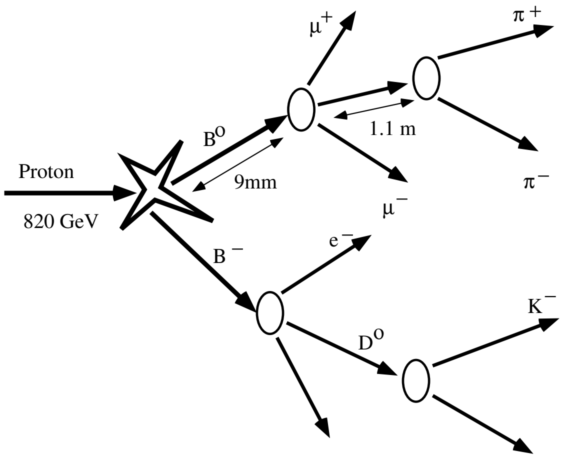

Abbildung 2.1: Typischer Zerfall eines B-Mesons

2.2 Das Detektorsystem

Die größte Herausforderung an den Detektor stellen die sehr hohen Raten und Teilchendichten dar. Der Teilchenfluß beträgt dabei ca. $3 \times 10^7 / R^2$ $[mm^{-2} s^{-1}]$, wobei R der radiale Abstand zur Strahlröhre in mm ist. Ebenso wird eine sehr hohe Ortsauflösung für die Zerfallspunkte gefordert, um die Zerfallslänge der B^0-Mesonen zu messen, wobei das B-Meson im Mittel etwa 7 mm weit fliegt. Die Triggerelektronik muss in der Lage sein, ungefähr 1000 Kandidaten pro Sekunde herauszufiltern, die einen B-Zerfall darstellen könnten. Daraus resultiert eine Unterdrückung des Untergrundes um einen Faktor $\approx 10^4$. Die primären Wechselwirkungen finden in Metallstreifen ($50 \mu m \times 500 \mu m$ in Richtung des Strahlrohres), die in den äußeren Bereich (Halo) des Protonenstrahls hineinreichen, statt. Durch dieses feststehende Target sind die Koordinaten der primären Wechselwirkungspunkte in zwei Dimensionen festgelegt. Weiterhin ist sichergestellt, daß der *normale* Beschleunigerbetrieb nicht gestört wird.

Abbildung 2.2: Das Detektorsystem

Die Hauptkomponenten sind :

- Vertex Detektor (Vertex) aus Siliziumstreifendetektoren zur Vertexbestimmung aller Zerfalls-Teilchen von B^0 und $\overline{B}^0$
- Ein magnetisches Spektrometer aus einem Dipolmagneten und Spurkammerlagen (Tracking) zur Messung der Teilchenimpulse

- Ein RICH-Zähler (Rich) zur Unterscheidung von Protonen, Kaonen und Pionen
- Elektromagnetisches Kalorimeter (Shower, PM)
- Myonen Detektor

Das Spurkammersystem muß abhängig vom Abstand von der Strahlachse unterschiedliche Raten verarbeiten. Es ist daher in Bereiche unterschiedlicher Granularität eingeteilt. Der Inner Tracker nahe der Strahlröhre wird hauptsächlich aus MSGC's aufgebaut werden. Nur in den ersten drei *Superlayern*[PROP] des Inner Tracker, die direkt hinter dem Vertex Detektor liegen, werden zusätzlich noch bis zu einem Abstand von 6 cm zur Strahlröhre Silizium-Streifen-Detektoren eingesetzt. Der Bereich 6 cm bis ca. 25 cm wird von den MSGC's abgedeckt.

Das Outer Tracker System besteht im Wesentlichen aus Honeycomb Driftkammern unterschiedlicher Zellgröße.

2.3 Die Mikrostreifen-Gaskammer

Aufbau Der Aufbau eines Mikrostreifengaszählers ist vergleichbar mit dem einer Vieldrahtproportionalkammer [GRU]. Statt frei gespannter Anodendrähte besitzt die MSGC feine Leiterbahnen, die mit Hilfe fotolithographischer Verfahren [WER] auf ein Substrat aufgebracht sind. Die typischen Probleme einer MWPC [1], wie Drahtschwingungen, zu große Abstoßung der Anodendrähte aufgrund der elektrostatischen Kräfte oder das Durchhängen der Drähte treten bei der MSGC nicht auf. Das Substrat, auf dem die Anodenstreifen aufgebracht sind, besteht im allgemeinen aus Glas. Zwischen diesen Anodenstreifen befinden sich zur Feldformung sogenannte Potentialstreifen [2]. Die Breite der Anodenstreifen liegt zwischen 5μm und 10μm, die der Potentialstreifen zwischen 50μm und 500μm. Die Streifendicke beträgt zwischen 100 nm und 1μm und wird durch das jeweilige Verfahren begrenzt [3]. Die verwendeten Materialien sind Chrom, Gold, Titan und Aluminium.

Die räumliche Periodizität der Anordnung Anoden- Potential- Anodenstreifen, auch Pitch genannt, liegt typischerweise bei ca. 200μm. Der typische Drahtabstand einer MWPC liegt dagegen bei ca. 2 mm. Der Pitch hat direkten Einfluß auf die maximal mögliche Ortsauflösung einer Kammer. über dem Wafer ist ein Gasraum von mehreren Millimetern Höhe, der von Driftelektrode begrenzt ist. Der Abstand Driftelektrode - Wafer wird auch *Gap* genannt.

[1] Multi Wire Proportional Chamber

[2] Auch Kathodenstreifen genannt.

[3] Beim Sputtern werden Schichtdicken von 150 nm, durch Bedampfen werden Schichtdicken bis 1 μm erreicht

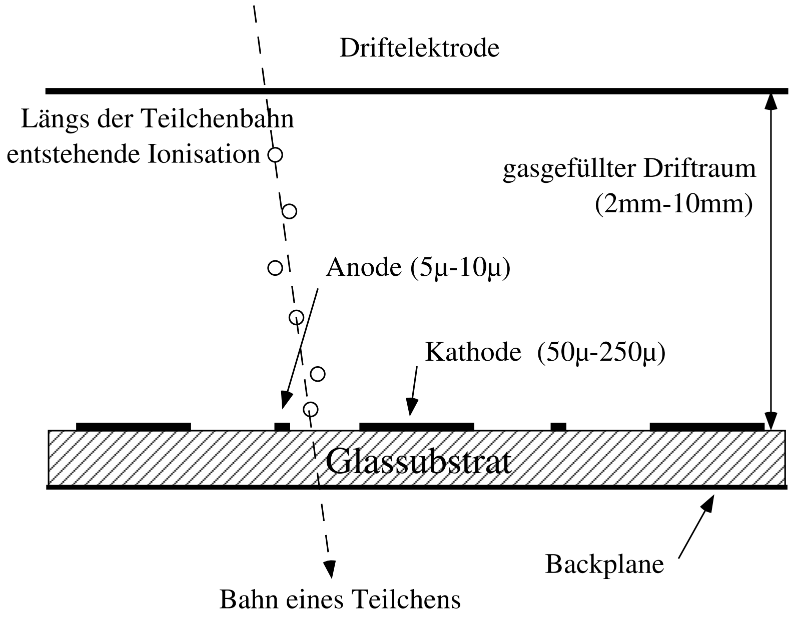

Abbildung 2.3: Schematischer Aufbau einer MSGC

Funktionsweise Nimmt man die Anode als Bezugspotential, besitzen die restlichen Elektroden negative Potentiale. Bild 2.4 macht den Feldverlauf deutlich. Ein in die Kammer eintretendes geladenes Teilchen oder γ-Quant wechselwirkt elektromagnetisch mit dem zwischen Driftelektrode und MSGC-Wafer befindlichen Zählgas. Ist seine kinetische Energie größer als die Ionisierungsenergie des Zählgases, werden Ladungsträgerpaare in Form von Elektronen und Ionen erzeugt (Primärionisation). Diese driften entlang der Feldlinien zu den Elektroden mit entgegengesetzten Potentialen. Die Elektronen treffen hierbei auf hohe Feldstärken im Bereich der Anodenstreifen. Sie werden dort beschleunigt und können ihrerseits diese aufgenommene Energie zur Ionisation weiterer Atome (Sekundärionisation) abgeben. Diesen Vorgang nennt man Gasverstärkung. Die Höhe der Gasverstärkung ist abhängig von der Feldstärke an den Anodenstreifen und von der Gaszusammensetzung. Besteht ein linearer Zusammenhang zwischen der erzeugten Ladung und der Energie des Teilchens, arbeitet die Kammer im Proportionalbereich. In ihm ist die Gasverstärkung konstant. Die Backplane besitzt in diesem Bild kein definiertes Potential, sie floated. Daher nimmt sie keinen Einfluß auf den Verlauf der Feldlinien in der Kammer. Sie ist für den

Abbildung 2.4: Feldlinien in der MSGC

Betrieb der MSGC auch nicht unbedingt erforderlich. Sie kann aber in Grenzen den Verlauf der Feldlinien um den Anodenstreifen und im Substrat positiv beeinflussen (s.u.).

Der stabile Betrieb einer MSGC wird hauptsächlich durch folgende Effekte beeinträchtigt :

- Feldveränderungen durch Alterung der Kammer
- Feldveränderungen durch Ladungsdeposition auf dem Substrat

Unter Alterung versteht man die Bildung von Ablagerungen auf den Elektroden, hauptsächlich von dünnen Polymerschichten, die den Kammerbetrieb beeinträchtigen. Damit verbunden ist die Veränderung von Betriebsparametern wie Gasverstärkung, Rauschen, Dunkelzählrate etc. Eine der Ursachen des Alterns liegt in der Entstehung von Radikalen im Mikroplasma der Elektronenlawine. Diese freien Radikale besitzen ein hohes Dipolmoment und wandern daher zur nächstgelegenen Elektrode, der Anode. Dort können sie sich zu langen Molekülketten verbinden (Polymere). Dieser Vorgang ist proportional zur Zählrate der Kammer. Sind die Beläge elektrisch leitfähig, vergrößern sie damit den Anodendurchmesser. Die Folge ist eine Reduktion der Gasverstärkung. Sind sie nichtleitend, erhöhen sie das elektrische Rauschen der Drähte.

Der zweite Punkt beschreibt die Feldveränderungen aufgrund der Anlagerung von Ionen auf dem nichtleitenden Substrat. Enden Feldlinien auf dem Substrat oder treten durch es hindurch, bleiben positive Ionen auf dem Substrat liegen [4]. Das Feld im Bereich der Anodenstreifen wird dadurch geschwächt.

[4] *charging up*

Ebenso können durch Diffusion quer zu den in der Nähe des Substrates verlaufenden Feldlinien Ionen auf die Oberfläche des Substrates gelangen. Dies muß durch eine entsprechende Feldgeometrie verhindert werden. Hierzu kann das Potential der Backplane dienen.

Das Substrat ist kein idealer Nichtleiter. Es treten Oberflächen- und Volumenströme auf. Auf der Oberfläche ist i.a. eine leitfähige Wasserhaut und im Glasinneren befinden sich Alkalionen, die ebenfalls zur Leitfähigkeit beitragen. Hieraus resultieren Effekte, die z.B. das Einschaltverhalten der Kammer beeinflussen. Dies wird im Kapitel **Ergebnisse** noch diskutiert werden.

2.4 Anforderungen an das MSGC-System

Die Hauptanforderung an das MSGC-System ist die hohe Ratenverträglichkeit. Simulationsrechnungen für HERA-B führen auf Raten von bis zu $10^4 mm^{-2}s^{-1}$. Minimalionisierende Teilchen (MIPS) erzeugen ca. 15 Elektronen pro mm Zählgas[5] [EIS] entlang ihrer Trajektorie. Bei einer angenommenen Gasverstärkung von 1500 führt dies bei einer Gaphöhe von 3.5 mm zu ca. 80.000 Elektronen pro Spur. Als maximale Zählrate eines Anodenstreifens der MSGC erwartet man ca. 0.6×10^6 s^{-1} [PROP].Eine Ladungsdeposition von ca. 7 mC pro cm Anodenstreifen in einem Jahr ist die Folge.

Hieraus ergibt sich die Forderung nach hochreinen Gasbedingungen in den Spurkammern, da Gasverunreinigungen bei dieser hohen Ladungsdeposition zu starken Alterungseffekten führen können [CERN4].

Untersuchungen haben ergeben, dass Argon/DME - Mischungen für die Anwendung in MSGC bei HERA-B geeignet sind [CERN5]. Sie besitzen ein sehr gutes Alterungsverhalten und eine hohe Primärionisation.

Die geforderte Ortsauflösung der MSGC's liegt bei ca. $80\mu m$. Daraus resultiert ein Pitch von ca. 300 μm [PROP].

[5] Argon/Dimethylether (DME) 50/50

Kapitel 3

Untersuchungen an MSGC-Strukturen

3.1 Der Aufbau des Teststandes

Vor dem Kapitel 3.4 Ergebnisse möchte ich kurz den Aufbau den Teststandes erläutern[1]. Der Teststand besteht im Wesentlichen aus :

- Gassystem
- Mikrostreifengaskammer
- Elektronikkette
- Auslesesystem

Das Gassystem ist ein Durchflußgassystem. Die Gaskomponenten werden in Gasflaschen bevorratet und ihr Beitrag zum Gesamtfluß wird durch Massendurchflußregler bestimmt. Diese Regler erhalten ihre Sollwerte von der Steuerelektronik des Teststandes. Die Gaskomponenten werden gemischt, in die Kammer eingelassen und nach dem Austritt aus der Kammer ins Freie geleitet.

Die Mikrostreifengaskammer ist in einem Edelstahltopf untergebracht, der über einen Kleinflansch-Adapter evakuierbar ist. In diesem Topf befindet sich eine Vorrichtung, mit der verschiedene radioaktive Präparate über der Kammer positioniert werden können. Die elektrischen Anschlüsse der Kammer sind mit Keramikdurchführungen nach außen geführt.

Die Elektronikkette besteht aus einem ladungsempfindlichen Vorverstärker, einem Nachverstärker, einem Analog/Digital-Wandler für die Kammersignale und der Triggerelektronik.

[1] Eine ausführliche Behandlung erfährt dieser im Kapitel fünf.

Das Auslesesystem besteht aus einem Apple Macintosh mit MacVEE-Interface und einem in LabView geschriebenen Programm zur Auslese der Daten aus dem A/D-Wandler und zur Darstellung und Analyse der digitalisierten Kammerpulse.

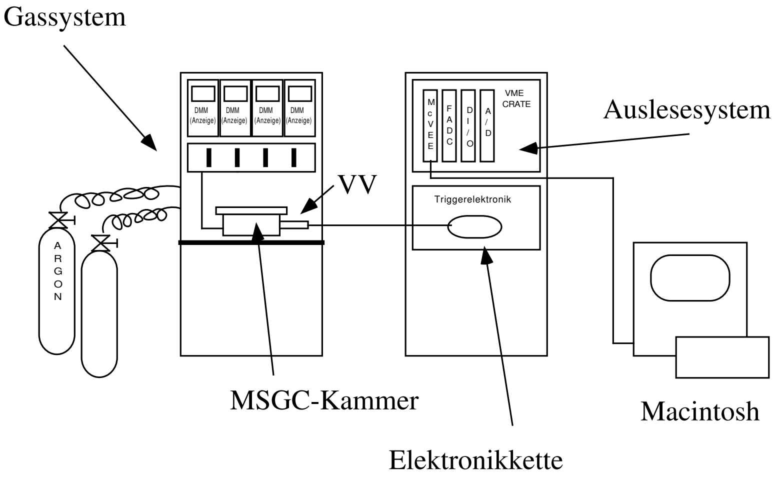

Abbildung 3.1: Der Teststand

3.2 Gasverstärkung und Eichung der Elektronikkette

Die explizite Berechnung der Gasverstärkung ist schwierig. Es wird hier nur auf die Grundlagen zur experimentellen Bestimmung der Gasverstärkung eingegangen.

Ein in den sensitiven Bereich des Detektors eindringendes elektromagnetisch wechselwirkendes Teilchen mit einer Energie, die über der mittleren Ionisationsenergie des Zählgases [2] liegt, bewirkt dort eine Ionisierung der Gasatome entsprechend seiner Energie. Die Anzahl der Ladungspaare [e^-,Gasionen] sei N_0. Im elektrischen Feld des Detektors werden diese Ladungspaare beschleunigt und sind ihrerseits wieder in der Lage, ihre aufgenommene kinetische Energie in Ionisationsenergie zu verwandeln. Diesen Vorgang nennt man Sekundärionisation. Die Anzahl der Sekundärionen sei I_S. Das Verhältnis $\frac{N_0}{I_S} = A$ wird

[2] Oder Flüssigkeit oder Festkörper

Gasverstärkung genannt. Die gesamte am Ausgang des Detektors fließende Ladung ist Q :

$$Q \quad = \int i(t)dt = \quad e \cdot N_0 \cdot A$$

In Kenntnis der Primärionisation und der Ladung Q ist die Gasverstärkung bestimmt. Die Ladung am Ausgang des Detektors wird i.a. mit ladungsverstärkenden Vorverstärkern [3], die eine der geflossenen Ladung Q proportionale Ausgangsspannung liefern, verstärkt. Diese Ausgangsspannung wird i.a. weiter verstärkt, digitalisiert und ausgewertet. Eine dem Verstärker eigene Zeitkonstante führt dann zu einem exponentiellen Abfall des Spitzenwertes der Ausgangsspannung zurück auf Null. Diese Verstärker sind also nur zur Impulsverstärkung geeignet. Konstante Ströme verursachen eine Sättigung dieses Verstärkertyps.

Die MSGC liefert Signale, deren Anstiegszeit sehr kurz ist, da der Driftweg der Elektronen aus der Gasverstärkungszone ebenfalls sehr kurz ist und die Ionen nicht wesentlich zum Signal beitragen. Die optimale Verarbeitung dieser Signale erfordert daher eine große Bandbreite der Verstärker. Der Einsatz von Verstärkern ist notwendig, da eine direkte Messung der Ladung am Ausgang der Kammer nicht möglich ist.

Die Verstärkung von realen Verstärkern ist nicht konstant über der Frequenz. Man bezeichnet dies als Frequenzgang des Verstärkers. Die Spannung am Ausgang des Verstärkers ist also abhängig von $i(t)$. Kennt man den Frequenzgang oder die Übertragungsfunktion des Verstärkers, kann man $i(t)$ und somit Q aus dem Verlauf der Ausgangsspannung des Verstärkers berechnen.

Die Übertragungsfunktion eines zeitinvarianten linearen Systems ist definiert als:

$$P(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}, \tag{3.1}$$

wobei $Y(s)$ die Laplacetransformierte des Ausgangssignals und $X(s)$ die Laplacetransformierte des Eingangssignals des Systems darstellt. Im allgemeinen kann sie dargestellt werden durch Angabe der Pole und Nullstellen und einer Konstanten. Diese Konstante nennt man den Verstärkungsfaktor des Systems. Die Laplace-Transformierte des Einheitsimpulses [4] ist 1. Eingesetzt ergibt das :

$$P(s) = Y(s) \tag{3.2}$$

Das heißt, die Systemantwort auf den Einheitsimpuls ist die Übertragungsfunktion des Systems selbst.

Man kann die Übertragungsfunktion eines Verstärkers annähernd bestimmen, in dem man einen diracähnlichen Impuls auf den Eingang gibt. Das Ausgangssignal ist dann die in den Zeitbereich transformierte Übertragungsfunktion. Zur Impulserzeugung diente folgende Schaltung:

[3] Wie der verwendete Hybridverstärker des Instituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN).
[4] Diracstoß

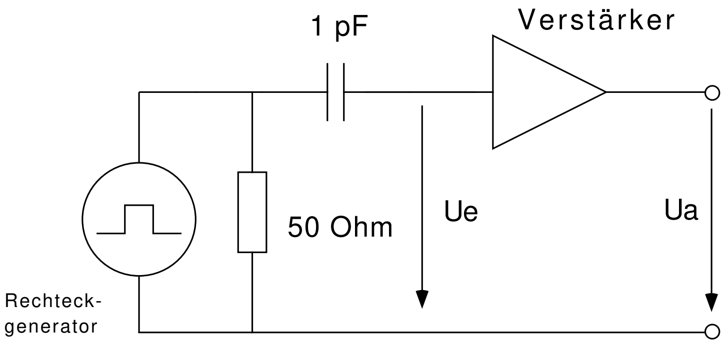

Abbildung 3.2: Pulserzeugung mittels RC-Glied

Die Anstiegszeit der Rechteckimpulse muß dabei im Sub-ns-Bereich liegen. Über die Amplitude des Rechteck-Generators wird die Höhe des Peaks am Ausgang des RC-Gliedes und somit die Ladung, die in den zu testenden Verstärker fließt, bestimmt.

Mit dieser Methode wurden zwei Vorverstärker getestet und verglichen. Ein Verstärker wurde hier am Physikalischen Institut (PI) entwickelt, der andere ist in Pisa am dortigen INFN entwickelt worden. Es wurden Ladungen von 0.05 pC bis 0.6 pC in die Verstärker eingespeist und die Amplitude des Ausgangssignals mit einem Oszilloskop mit 400 MHz Bandbreite bestimmt.

Der Pisa-Verstärker hat eine um den Faktor fünf höhere Verstärkung bei gleichem Rauschen. Allerdings konnte der vom INFN angegebene Wert von $\frac{1.2V}{pC}$ nicht gemessen werden. Es wurden stattdessen $\frac{0.6V}{pC}$ gemessen. Dies liegt in erster Linie an den parasitären Kapazitäten des Meßaufbaus. Diese bestehen vornehmlich aus den Leitungskapazitäten zwischen RC-Glied und Verstärker. Die ankommende Ladung verteilt sich daher auf die Eingangskapazität des Verstärkers und die parasitären Kapazitäten des Aufbaus.

Über die Eichung der Vorverstärkerkette ist der Zusammenhang zwischen der am Ende des Anodenstreifens geflossenen Ladung und der Ausgangsspannung U_A der Kette gegeben :

$$U_A = Q \times V_{Pisa} \times V_{Booster} \tag{3.3}$$

Die Ladung Q errechnet sich wie oben erläutert zu :

$$Q = e \times N_0 \times A \tag{3.4}$$

Daraus folgt die Gasverstärkung:

$$A = \frac{U_A}{e \times N_0 \times V_{pisa} \times V_{Booster}} \tag{3.5}$$

Die Ladungsverstärkung des Pisaverstärkers ist in $\frac{V}{pC}$ und die des Boosters in $\frac{mV}{mV}$ gegeben. Statt der Ausgangsspannung des Boosters kann man auch m.H. der Eichkurve des A/D-Wandlers direkt FADC-Einheiten statt der Ausgangsspannung angeben. Die Analyse der Eichkurve (s.Bild) ergibt einen Wert von $0.869 \times \frac{mV}{[FADC]}$ für die Steigung der Kennlinie.

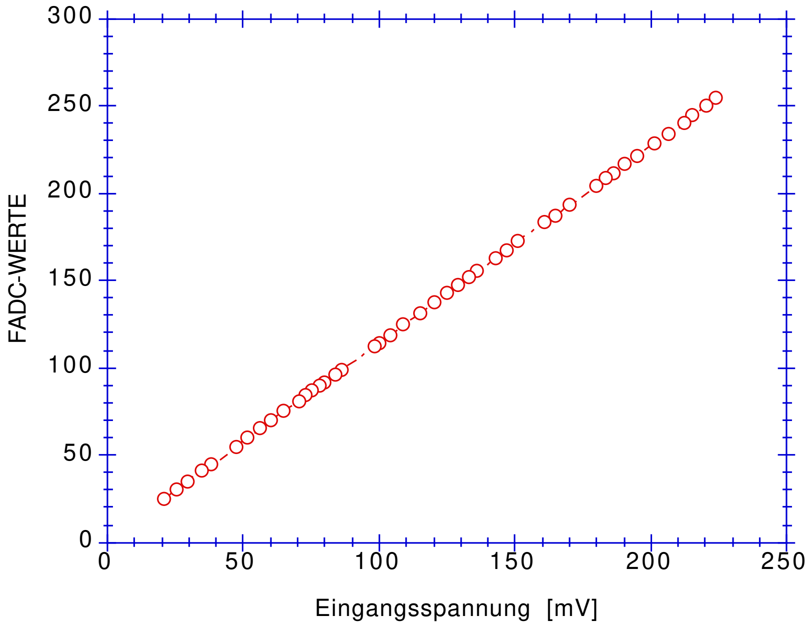

Abbildung 3.3: Eichkurve des FADC

Das führt auf :

$$A = \frac{0.869 \times 10^{-3} \times [V]}{e \times N_0 \times V_{Pisa} \times V_{Booster}} \times (X \pm PED) \qquad (3.6)$$

Der Wert X ist der dem analogen Signal entsprechende Wert des A/D-Wandlers bzw. das Maximum des Pulshöhenhistogrammes. Wegen der statistischen Fluktuation kann aus einem einzelnen Puls keine Gasverstärkung abgeleitet werden. Stattdessen werden die Pulshöhen von vielen Pulsen histogrammiert und ein Gaussfit vorgenommen. Der PED-Wert repräsentiert das eingestellte Pedestal [5]. Die PED-Werte gründen auf einem 6-Bit D/A-Wandler (DAC) auf der A/D-

[5] Einstellbarer Wert der die horizontale Lage der Kennlinie des FADC festlegt. Dies entspricht dem FADC Wert für 0 Volt.

Wandlerkarte. Der zulässige Zahlenbereich ist daher : $0 \leq PED \leq 63$. Aus dem Handbuch des A/D-Wandlers DL401 geht hervor, dass DAC-Werte zwischen 0 und 25 ein negatives Pedestal verursachen und Werte zwischen DAC=25 und DAC=63 ein positives Pedestal von PED ≥ 0 bis PED=50 verursachen. Bei DAC-Werten größer 25 ist das Vorzeichen also negativ.

Die Lage des Maximums des Pulshöhenhistogramms ist ein Maß für die Gasverstärkung. Der FADC-Wert des Maximums wird in Formel 3.6 eingesetzt und die Gasverstärkung ist bekannt. Ebenso ist es möglich, statt einer Histogrammierung der Pulshöhen die Flächen der Pulse zu bestimmen und zu histogrammieren. Pulsflächeneinheiten sind allerdings nur ein relatives Maß für die Gasverstärkung. Ein drittes Verfahren basiert auf der Mittelwertbildung der Kammerpulse mit einem Digitaloszilloskop und liefert ebenso einen nur relativen Wert.

Mit Hilfe einer Meßreihe wurden die beiden zuletzt genannten Verfahren geeicht. Bei fester Driftspannung wurde die Kathodenspannung, ausgehend von 520 Volt, schrittweise um 10 Volt erhöht. Bei jeder Kathodenspannung wurden ein Pulshöhenspektrum und ein Pulsflächenspektrum aufgenommen, deren Maxima durch Gaussfits bestimmt, und diese über der Kathodenspannung aufgetragen. Ebenso wurden die Mittelwerte der Pulshöhen bei den verschiedenen Kathodenspannungen mit dem Digitaloszilloskop gemessen. Die FADC-Werte des Pulshöhenspektrums wurden mit obiger Formel in die Gasverstärkung umgerechnet und über den dazugehörigen Werten der Pulsflächen bzw. Mittelwerten der Pulshöhen aufgetragen.

Diese Eichkurven dienten dann zur Bestimmung der Gasverstärkung aus Pulsflächenspektren und Pulsmittelwerten. Der Fehler der Gasverstärkung beträgt ca. 5% (s. 3.5). Der unerwartet hohe Wert der Gasverstärkung bei 26 mV in Abbildung 3.5 ist sehr wahrscheinlich auf einen Meßfehler zurückzuführen.

3.3 Meßpräparate und ihre Wechselwirkungen

Zum Betrieb der Kammer wurden folgende Präparate verwendet :

	Americium	**Eisen I**	**Eisen II**
Aktivität :	unbek.	5 mC	20 mC
Halbwertszeit :	433 a	2.7 a	2.7 a
Massenzahl :	241	55	55
Zerfallsart :	α	γ	γ
Energie :	5.44 MeV	5.89 keV	5.89 keV

Durch Elektroneneinfang geht das ^{55}Fe in ^{55}Mn über. Die angeregten Mangankerne emittieren eine monoenergetische γ-Strahlung von 5.89 keV. Über den Photoeffekt wird das in der Kammer eingesetzte Zählgas ionisiert. Hierbei werden vornehmlich Elektronen der K-Schale emittiert. Die K-Schale hat eine Bin-

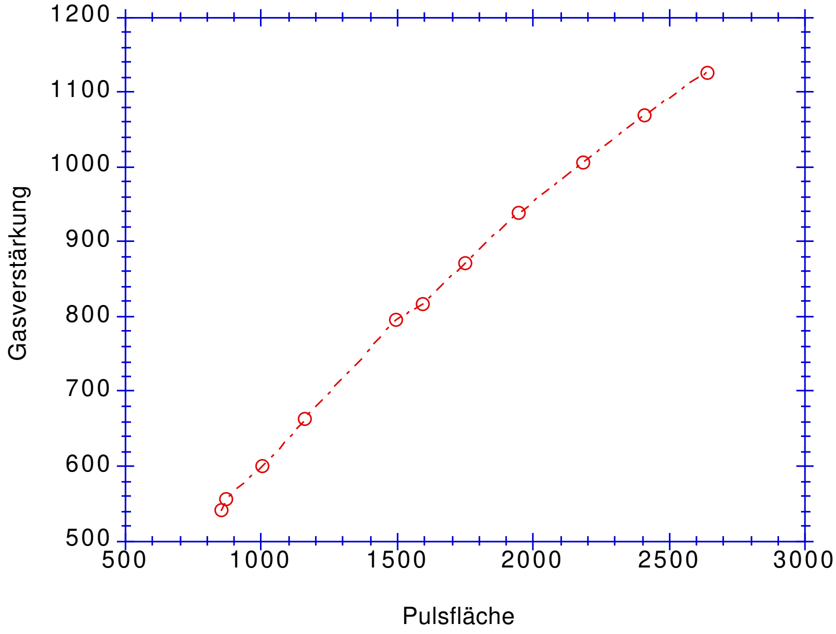

Abbildung 3.4: Eichkurve der Pulsflächen

dungsenergie von 3.2 keV. Die Elektronen haben somit eine kinetische Energie von 2.7 keV. Diese Energie geben die Elektronen in Form von Ionisationsverlusten vollständig ab. Durch Rekombination wird die Lücke in der K-Schale wieder aufgefüllt. Die hierbei freiwerdende Energie tritt mit einer Wahrscheinlichkeit von 15% in Form eines Photons und mit einer Wahrscheinlichkeit von 85% in Form eines Auger-Elektrons auf. Die Energie des emittierten Photons ist etwas geringer als die Bindungsenergie der K-Schale, daher besitzt es eine relativ große mittlere freie Weglänge und kann unter Umständen den Detektor verlassen. Arbeitet der Detektor im Proportionalbereich, führt dies zu zwei charakteristischen Linien im Energiespektrum : Die Vollabsorptionslinie und die Linie mit reduzierter Energie, die Escapelinie. (s. Bild 3.22)

Auf der Abszisse ist die Energie aufgetragen und auf der Ordinate die Anzahl der Ereignisse. Die Höhe der beiden Maxima ist den Wahrscheinlichkeiten der beiden Prozesse proportional und ihre Lage auf der Abszisse entspricht der im Detektor deponierten Energie.

Die Gesamtionisation im Zählgas berechnet sich zu : $n_T = \frac{\Delta E}{W}$. ΔE ist der Energieverlust des Teilchens im Detektor und W ist die mittlere Energie zur

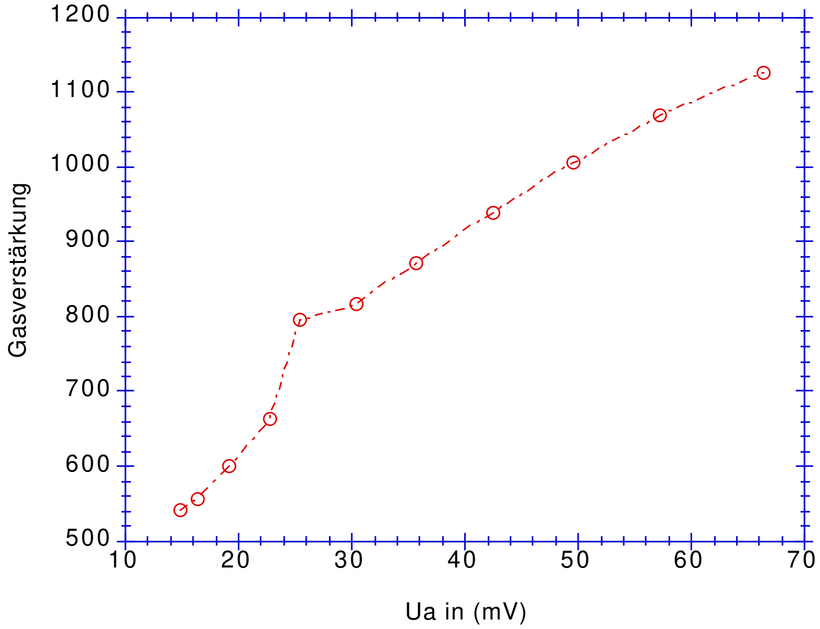

Abbildung 3.5: Eichkurve der Pulsmittelwerte

Erzeugung eines Elektron-Ion-Paares. Sie liegt für Argon bei ca. 26 eV. Werte für die insgesamt gebildeten Elektron-Ion-Paare enthält die folgende Tabelle :

Präparat	Ionisation in Argon	Ionisation Argon/DME 50/50
Eisen 55	230	-
Americium (4.5 mm Gap)	ca. 20.000	-
MIPS	9.4/mm	4.5/mm

Mit Hilfe der ^{55}Fe-Präparate ist man also in der Lage, eine bestimmte Energie im Detektor zu deponieren. Über die Variation der verschiedenen Kammerparameter, wie *Kathodenspannung*,*Driftspannung* usw., kann man nun Aussagen darüber machen, inwieweit sich die Gasverstärkung in Abhängigkeit von diesen Parametern ändert.

3.4 Ergebnisse

Die folgenden Messungen sind an Substraten mit der Struktur 3 vorgenommen worden. Substrat 3 besitzt einen Pitch von 328 μm und eine Anodenstreifenbreite von 8μm (s. Anhang). Die jeweilige Gasmischung und sonstige Parameter sind den Diagrammen zu entnehmen.

3.4.1 Abhängigkeit der Gasverstärkung von der Kathodenspannung

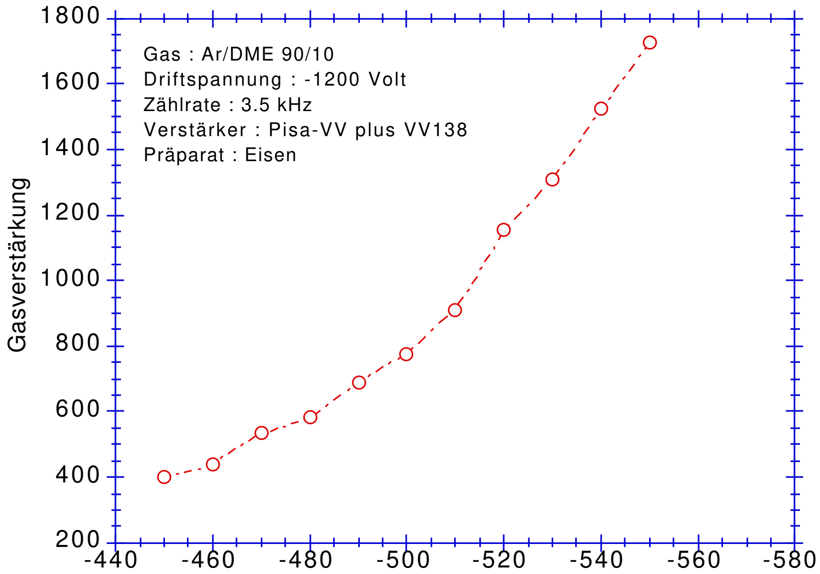

Abbildung 3.6: Gasverstärkung = f(U_K,Fe)

Bild 3.6 zeigt die Abhängigkeit der Gasverstärkung von der Kathodenspannung. Der Anstieg kann durch eine Exponentialfunktion beschrieben werden. Die auf die Fläche bezogene Rate beträgt ca. 50 $mm^{-2}s^{-1}$. Bei dieser Messung wurde ein Nachverstärker des Typs VV138 eingesetzt. Über eine Eichung war die Bestimmung der Gasverstärkung möglich.

Bild 3.7 zeigt das Ergebnis einer Messung bei der Americium als Präparat eingesetzt wurde. Eine Rechnung zeigt [6], daß Americium im Driftraum ca. 20.000 Elektron-Ion-Paare erzeugt. Diese Zahl ist um den Faktor 100 größer

[6] siehe Anhang.

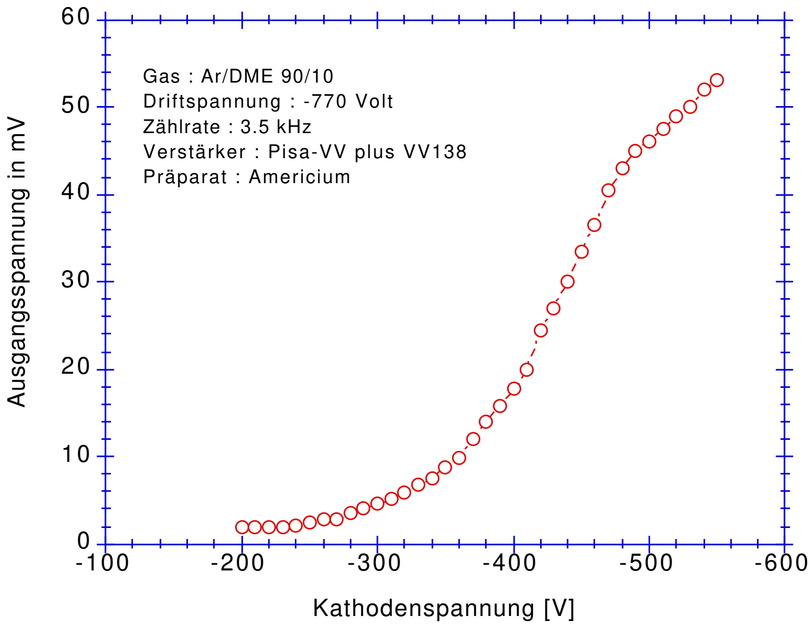

Abbildung 3.7: Gasverstärkung=f(U_K,Am)

als die Anzahl der Primärionen die durch das Eisenpräparat erzeugt werden (s.3.3). Bei 500 Volt Kathodenspannung beträgt die Ausgangsspannung des Pisa-Verstärkers ca. 56 mV. Dies entspricht einer Gasverstärkung von A≈25 :

$$V_{Pisa} \times Q = U_A \tag{3.7}$$

$$Q = \frac{56 \times 10^{-3} V}{1.2 \frac{V}{pC}} = 47fC \tag{3.8}$$

$$A = \frac{47fC}{20.000e^{-}} \qquad \approx 25 \tag{3.9}$$

Bei dem Eisenpräparat beträgt die Gasverstärkung bei 500 Volt Kathodenspannung ca. 800. Unterschiedlich ist bei den beiden Messungen die Driftspannung.

In dem Bereich der Driftspannung zwischen 800 Volt und 1.200 Volt besteht eine nahezu lineare Abängigkeit der Ausgangsspannung des Pisa-Verstärkers von der Driftspannung bei Americium (s. 3.4.2). Das Verhältnis der Ausgangsspannung bei 850 Volt und 1200 Volt ist 1.44. Mit diesem Wert wird die Gasverstärkung von 25 linear extrapoliert. Die Gasverstärkung bei 1200 Volt betrüge dann 36.

Die Ursache für den großen Unterschied in der Gasverstärkung (Faktor 20) bei den beiden Präparaten liegt vermutlich darin, daß es bei hoher Primärionisation (Am) zu einem lokalen Sättigungseffekt bei der Gasverstärkung kommt. Diese Sättigung kann u.U. hervorgerufen werden durch Feldveränderungen in der Gasverstärkungszone. Die insgesamt um den Faktor 5 höhere Ladung pro Lawine bei Americium könnte einen Abschirmeffekt hervorrufen, der die Zone der Gasverstärkung verkürzt.

3.4.2 Abhängigkeit der Gasverstärkung von der Driftspannung

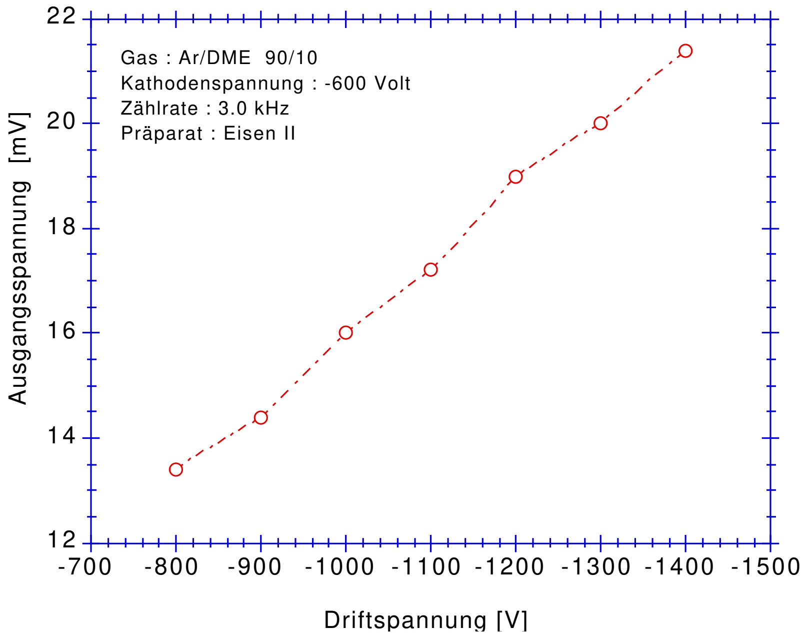

Abbildung 3.8: Gasverstärkung = f(U_D,Fe)

Über einen weiten Bereich ist in Bild 3.8 und 3.9 der Anstieg der Gasverstärkung linear. Ab ca. 1.200 Volt flacht sie für Americium ab. Werthenbach zeigte, daß ab ca. 2.000 Volt Driftspannung die Gasverstärkung konstant bleibt [7] [WER].

3.4.3 Abhängigkeit der Gasverstärkung von der Backplane

Neben Kathoden- und Driftelektrodenpotential beeinflußt auch die an der Bodenelektrode anliegende Spannung die Gasverstärkung. Dies ist ein Sekundäref-

[7] Präparat: ^{55}Fe; Struktur ILL6C; Kathodenspannung:700 Volt

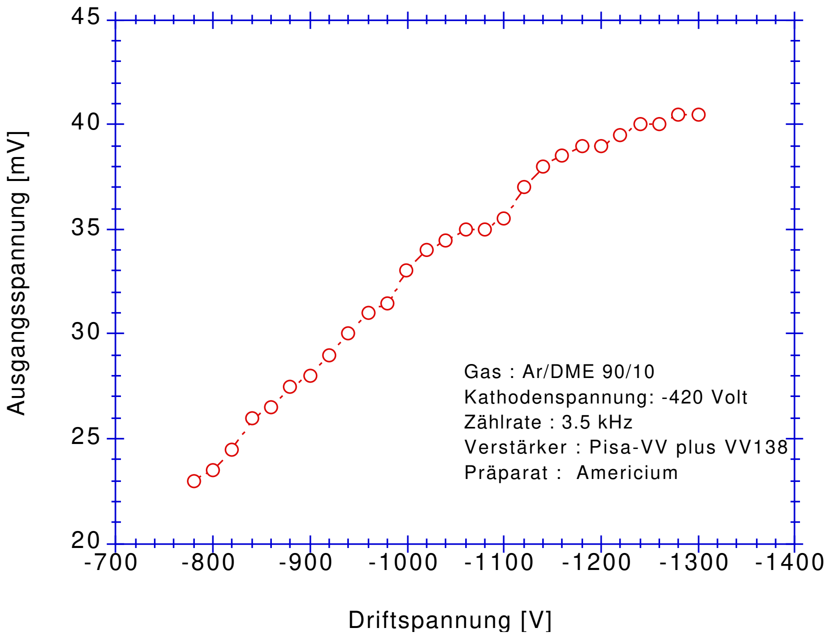

Abbildung 3.9: Gasverstärkung = f(U_D,Am)

fekt, da das Potential der Backplane i.a. so eingestellt wird, daß so wenig Feldlinien wie möglich auf dem Substrat enden [BEL2]. Wie oben erläutert, würden auf dem Wafer endende Feldlinien zu Aufladungseffekten auf dem Wafer führen und somit zu einer Verringerung der Gasverstärkung. Ursache für die Erhöhung der Gasverstärkung ist die Zunahme der Feldliniendichte in der Gasverstärkungszone. Bei fehlender Backplane enden sämtliche, von der Anode ausgehenden Feldlinien auf der Driftelektrode oder der Kathode. Je mehr Feldlinien auf einer negativen Backplane enden, um so mehr stoßen diese die bestehenden Feldlinien, die von der Anode zur Kathode führen, ab. Dies bedingt die Verdichtung des Feldes im Bereich der Anode.

Der Durchgriff des Feldes der Backplane durch das Substrat und der damit verbundene Einfluß auf das elektrische Feld der Anode, sind abhängig von dessen Dicke [WER]. Die hier verwendete Struktur 3 hat eine Dicke von 300 μm. In Bild 3.10 ist zu erkennen, daß auch bei geringen Spannungen (0 Volt - 100 Volt) der Einfluß des Backplanepotentials auf die Gasverstärkung recht stark ist (8% Zunahme der Gasverstärkung bei einer Erhöhung der Backplannespannung von 0 Volt auf 100 Volt). Bei hohen Backplanespannungen nimmt dieser Einfluß ab und nähert sich anscheinend einem konstanten Wert.

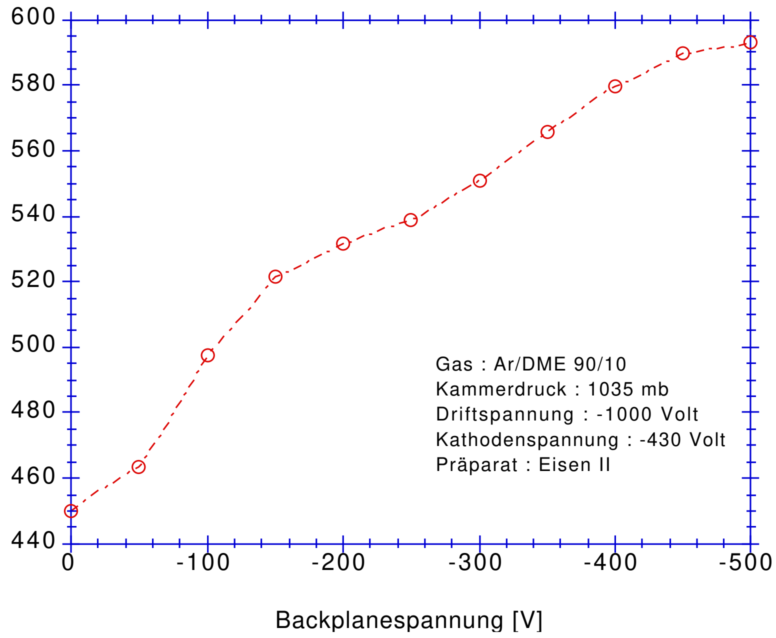

Abbildung 3.10: Gasverstärkung = f(U_B,Fe)

3.4.4 Abhängigkeit der Gasverstärkung vom Zählgasdruck

Die Gasverstärkung sinkt nahezu linear mit steigendem Druck (s. Bild 3.11). Die Steigung der Kurve ist : $\approx -2.33\frac{mV}{100mb}$. Unter der Annahme, daß sich die Linearität der Druckabhängigkeit unter 1000 mb ebenso linear fortsetzt, gilt folgender Zusammenhang : Bei einer Luftdruckänderung von 10% schwankt die Gasverstärkung um ca. 7.5%. (Die angenommene Luftdruckschwankung entspricht einem atmosphärischen Hochdruck-Tiefdruck-Wechsel.)

3.4.5 Ströme der Driftelelektrode und Kathode

Die Diagramme in Bild 3.13 und Bild 3.14 zeigen den Verlauf der Ströme der Driftelektrode und der Kathode mit den Präparaten Americium und Eisen.

Charakteristisch ist hier der nahezu lineare Anstieg des Driftstromes mit der Driftspannung . Der Kathodenstrom steigt ab 350 Volt sehr schnell an und erreicht sein Maximum von ca. 19 nA bei -430 Volt Driftspannung und sinkt anschließend, einer Exponentialfunktion ähnlich, wieder ab. Bei ca. 900 Volt sind Kathoden- und Driftelektrodenstrom gleich. Bei noch höherer Driftspannung überwiegt der Driftstrom.

Der Driftstrom bei dem Betrieb der Kammer mit Americium zeigt zwei cha-

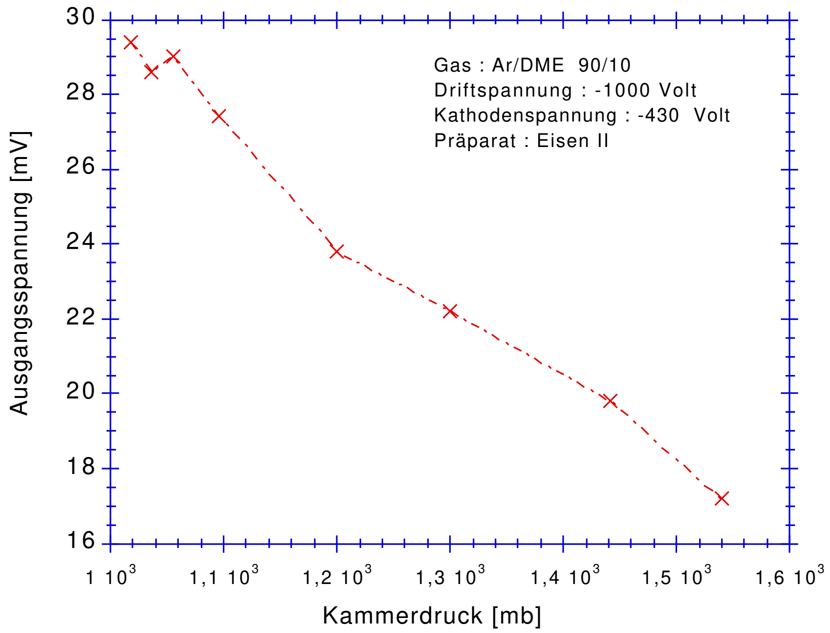

Abbildung 3.11: Gasverstärkung = f(P_K,Fe)

rakteristische Bereiche : einen starken Anstieg zwischen 100 Volt und 330 Volt und einen flacheren Anstieg zwischen 330 Volt und 1.100 Volt. Der Kathodenstrom nimmt von 100 Volt bis ca. 300 Volt ab und hat dann bei 330 Volt ein Maximum und sinkt danach weiter unter die Werte vor dem Maximum ab.

Die Kathodenströme bei Americium und Eisen haben ein ausgeprägtes Maximum in dem Punkt der Gleichheit von Driftspannung und Kathodenspannung. Die Ursache liegt in der Feldgeometrie und ist unverstanden. Dieser Arbeitsbereich der MSGC mit niedrigen Driftfeldern wird allerdings auch nicht angetrebt, da hohe Driftfelder den Vorteil geringen Signalrauschens und geringer Ratenabhängigkeit der Gasverstärkung besitzen [EIS].

3.4.6 Gasverstärkung bei verschiedenen Gasmischungen

Bild 3.15 zeigt den Verlauf der Gasverstärkung in Abhängigkeit von der Kathodenspannung bei unterschiedlichen Beimengungen von DME zu Argon. Der qualitative Verlauf der Kurven ist in **Abhängigkeit der Gasverstärkung von der Kathodenspannung** schon beschrieben worden. Auffällig ist die Parallelverschiebung der Kurven nach rechts mit steigendem DME Anteil. Bei der Verdopplung des DME-Anteils von 5% auf 10% ist im Mittel eine Erhöhung der Kathodenspannung um ca. 40 Volt notwendig, um die gleiche Gasverstärkung

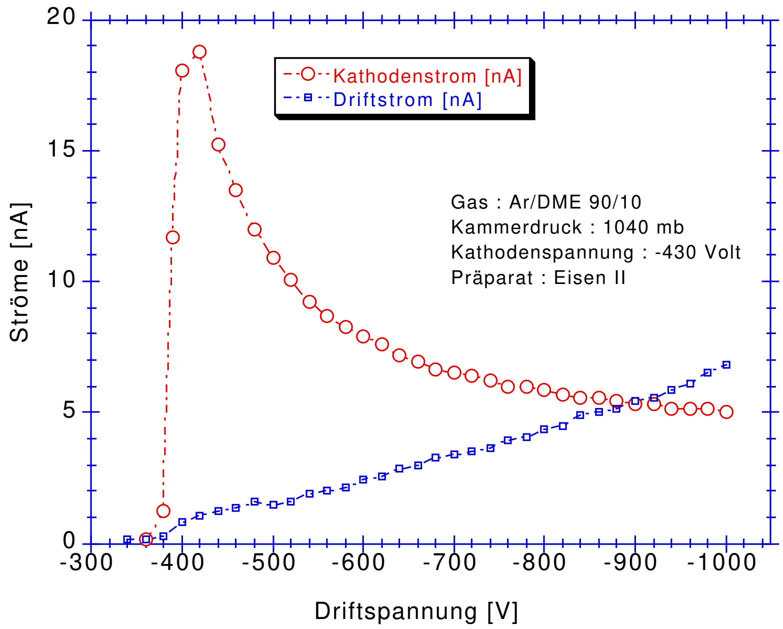

Abbildung 3.12: Drift- und Kathodenstrom (Fe)

zu erzielen.

Eine zu starke Erhöhung der Kathodenspannung führt zu Überschlägen zwischen Kathode und Anode und somit zur Zerstörung der Strukturen des Wafers. Indikator für einen in diesem Sinne kritischen Arbeitsbereich der Kammer ist eine starke Zunahme des Rauschens der Signale, verbunden mit Instabilitäten der Ströme [CERN5]. Bei diesen Messungen wurde die Kathodenspannung bei einer bestimmten Gasmischung nicht weiter erhöht als die Steigung der Kurven abnahm. Dies geschah um, möglichen Zerstörungen des Wafers vorzubeugen.

3.4.7 Einschaltverhalten der Kammer

Unter Einschaltverhalten versteht man die Zeitabhängigkeit der Gasverstärkung der Kammer nach dem Anlegen sämtlicher Betriebsspannungen. Der Wafer ist während des Kammerbetriebes verschiedenen Einflüssen, die sein Betriebsverhalten beeinflussen, ausgesetzt. Zwei Einflüsse sind wesentlich : Elektrische Felder, die das Glassubstrat beeinflussen, und Aufladungseffekte der Oberfläche.

Messung 1 Das Diagramm in Bild 3.15 zeigt das Einschaltverhalten einer noch nicht in Betrieb gewesenen Streifengruppe. Nach einer anfänglich hohen Gasverstärkung (Die Kathodenspannung betrug nur 380 Volt) von 1.300 sinkt

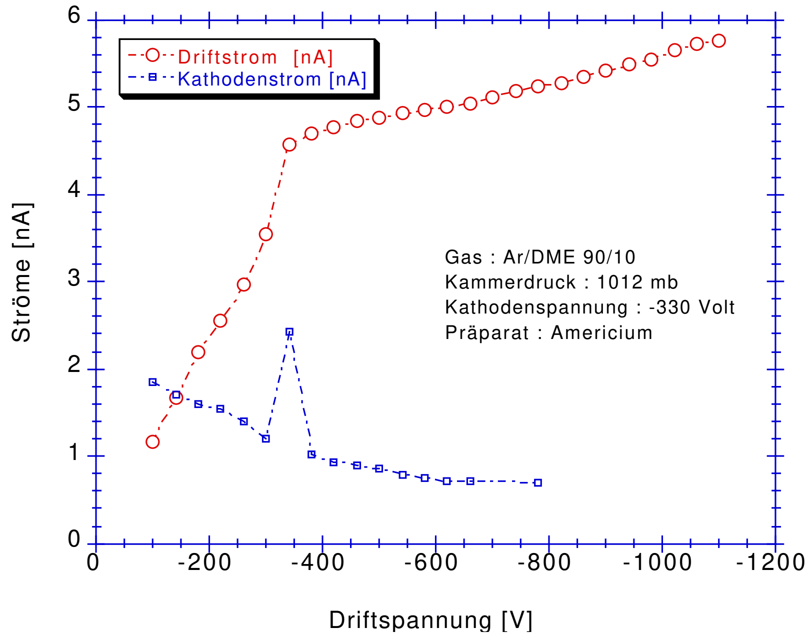

Abbildung 3.13: Drift- und Kathodenstrom (Am)

diese, einer Exponentialfunktion ähnlich, mit einer Zeitkonstanten von ca. drei Minuten auf einen Wert von ca. 420 ab. Die Hochspannung wurde nach ca. 30 Minuten ausgeschaltet und 100 Minuten später wieder eingeschaltet. Der Wert der Gasverstärkung hatte sich nicht verändert. Auch nach einer Pause von 18 Stunden trat keine Änderung der Gasverstärkung ein. Erst nach einer Pause von vier Tagen stieg die Gasverstärkung um ca. 7%, um dann binnen 30 Minuten wieder auf den Wert von 420 zurückzufallen.

Messung 2 Das Diagramm in Bild 3.16 zeigt das Einschaltverhalten einer Streifengruppe, die schon einmal in Betrieb war. Die Zeitspanne zwischen Erstbetrieb und diesen Messungen betrug ca. zwei Tage. Die beiden Messungen wurden bei gleichen Betriebsbedingungen aufgenommen. Die Gasverstärkung sinkt bei Messung 1 innerhalb von ca. 7 Minuten von 870 auf 775 ab (-9%). Die zweite Messung wurde 5 Tage später vorgenommen und zeigt einen Absinken der Gasverstärkung von 840 auf 820 (-2.4 %).

Messung 3 Bild 3.17 zeigt das Diagramm einer Messung mit einer kleineren Driftspannung (-500 Volt). Die Gasverstärkung sinkt binnen 5 Minuten von 780 auf 730 und bleibt dann stabil.

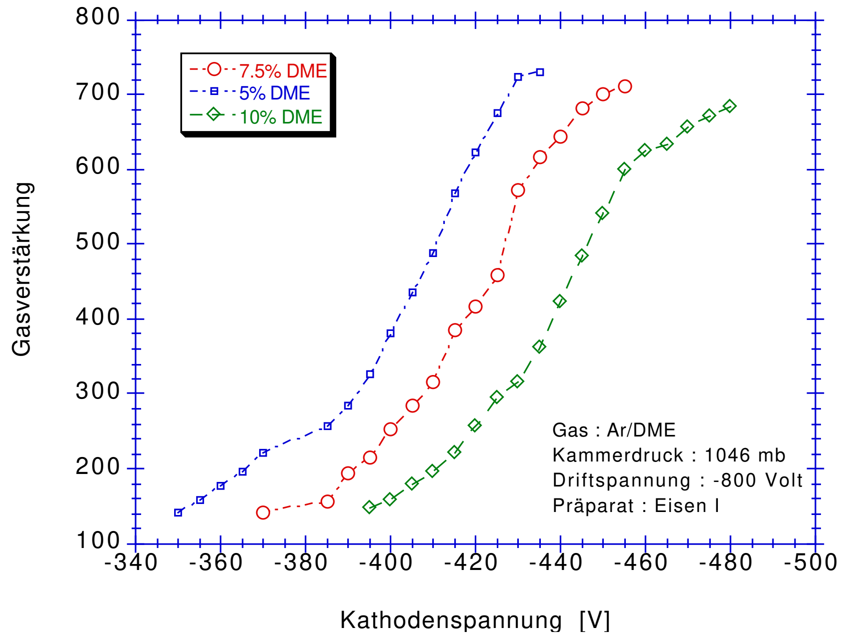

Abbildung 3.14: Gasverstärkung bei unterschiedlichen Gasmischungen

Messung 4 Bild 3.18 zeigt das Einschaltverhalten der MSGC mit der Backplane auf Anodenpotential (0 Volt). Die Zeitkonstante bei Messung 1 beträgt 1 Minute, bei Messung zwei ca. 6 Minuten. Zwischen diesen Messungen lagen 48 Stunden. Trotz gleicher Einstellung der Parameter ist das Einschaltverhalten unterschiedlich. In beiden Fällen jedoch ist die Gasverstärkung zu Beginn und zu Ende der Messung nahezu gleich.

Messung 5 Bild 3.19 zeigt Messwerte die 24 Stunden später aufgenommen wurde. Die Verringerung des Backplanepotentials von 0 Volt auf -500 Volt führt zu einer Gasverstärkung die ungefähr den gleichen Wert hat wie zu Beginn von Messung 1 bzw. 2 in **Messung 4**

Sie fällt anschließend wieder mit einer Zeitkonstanten von ca. 30 Minuten auf den vorigen Wert zurück.

Messung 6 Das Diagramm in Bild 3.20 zeigt drei Einschaltkurven. Zwischen den einzelnen Messungen lagen ca 48 Stunden. Im Unterschied zu den vorausgegangenen Messungen ist die Gaszusammensetzung nun 50 % Argon und 50% DME. Die Anfangswerte der Gasverstärkung und die Zeitkonstanten dieser Messung sind in nachfolgender Liste zusammengefaßt.

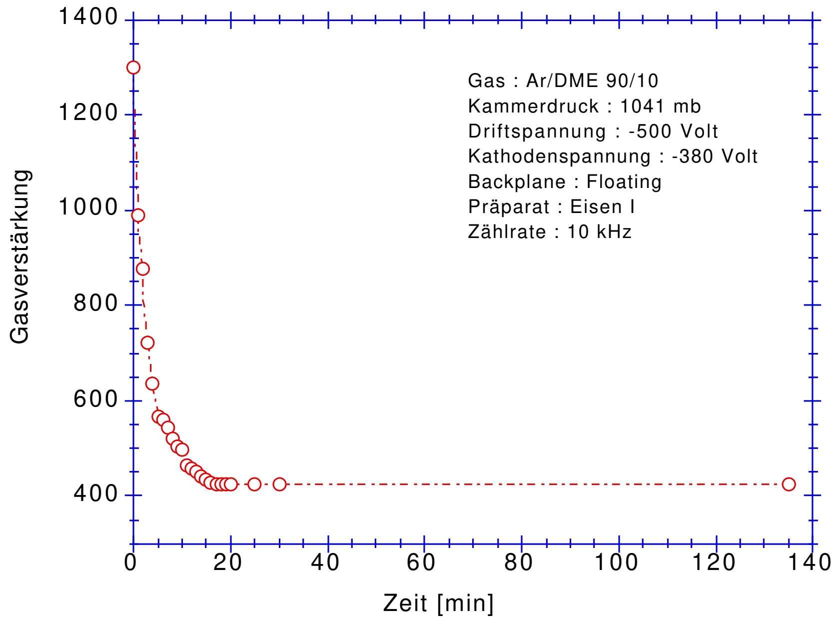

Abbildung 3.15: Einschaltverhalten eines neuen Wafers

	Anfangswert v. A	Abklingkonstante [min]
Kurve 1	1025	18
Kurve 2	900	11.5
Kurve 3	715	6.4

Messung 7 Bild 3.21 zeigt den zeitlichen Verlauf der Ströme nach dem Einschalten der Kammer. Die Zeitkonstanten der Exponentialfits sind 0.6 Minuten für den Kathodenstrom und 1.6 Minuten für den Driftstrom. Auf die Messung des Anodenstroms wurde verzichtet, da ein Meßintrument zwischen MSGC und Vorverstärker das ganze Kammerverhalten beeinflußt haben würde.

3.4.8 Energieauflösung

Wird die Kammer im Proportionalbereich betrieben, ist die geflossene Ladung am Ausgang des Anodenstreifens der in der MSGC deponierten Energie proportional. Infolge statistischer Prozesse beim Energieverlust der γ-Quanten im Zählgas und aufgrund von Schwankungen der Gasverstärkung ergibt sich bei der Histogrammierung der Pulshöhen (Spektrum) der Vorverstärker keine scharfe Linie.

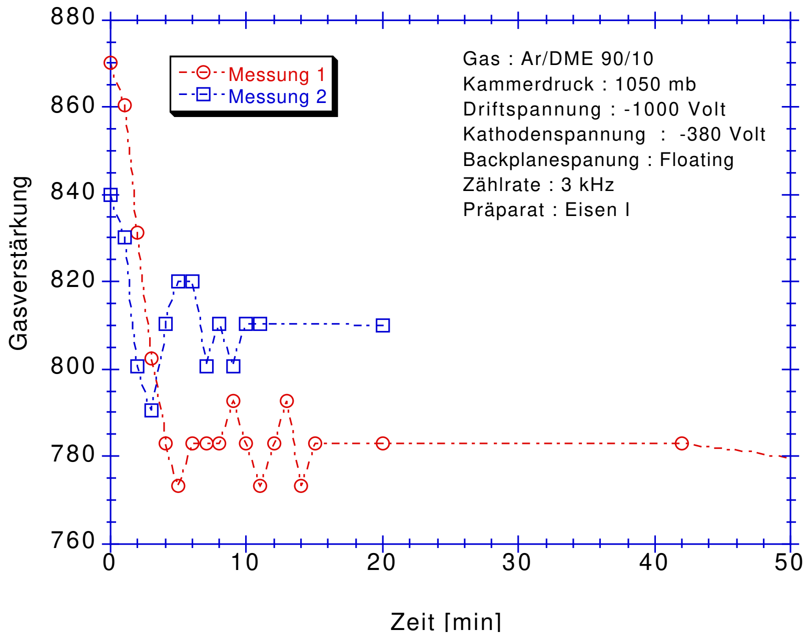

Abbildung 3.16: Einsschaltverhalten eines bereits eingesetzten Wafers

Das Histogramm (Abb.3.22) zeigt drei charakteristische Bereiche : Vollabsorptionspeak, Escapepeak und das Rauschen der Signale am linken Bildrand [8]. Der FWHM-Wert des Vollabsorptionspeaks auf dessen Maximum bezogen, ist ein Maß für die Energieauflösung des Detektors. Das Maximum des Vollabsorptionspeaks wurde durch einen Gaussfit berechnet. Der FWHM-Wert wurde grafisch aus dem Diagramm ermittelt. $\Delta E/E$ beträgt ca. 20%. Nimmt man einen gaussförmigen Verlauf des Vollabsorptionspeaks an, entspricht dem FWHM-Wert eine 2.355fache Standardabweichung. Hieraus folgt σ mit 185 Pulsflächeneinheiten.

3.5 Fehlerbetrachtungen

Die hier vorgelegten Meßergebnisse beinhalten Meßfehler. Diese sind nicht Teil der Präsentation der Ergebnisse. Da die Fehler, mit Ausnahme die der Gasverstärkung, relativ klein sind, werden sie hier abschließend gemeinsam erläutert. Die Prozentangaben beziehen sich auf die Meßwerte während die Angabe der *Digits* einen auf den Meßbereich bezogenen Fehler charakterisiert.

[8] Das Rauschen der Analog-Signale wird digitalisiert und u.U. von der Auslesesoftware als Kammerpuls interpretiert und histogrammiert.

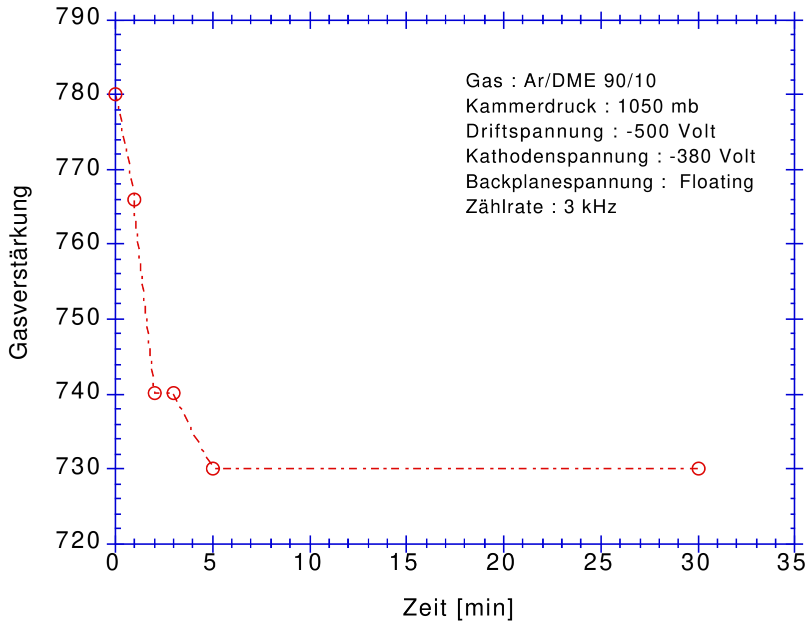

Abbildung 3.17: Einschaltverhalten bei kleiner Driftspannung

Spannungen Die in den Diagrammen auftretenden Spannungswerte wurden mit Digitalen Multimetern gemessen. Die größten vorkommenden Fehlergrenzen sind :

$$Messwert[\pm 2\% \pm 2Digit] \tag{3.10}$$

Ströme Die mit dem nA/V-Wandler gemessenen Ströme haben laut Eichkurve eine Nichtlinearität von $\pm 2\%$. Hinzu kommt der Fehler des Eichvorganges. Dieser ist relativ groß, da die zur Strombegrenzung eingesetzten Gigaohm-Widerstände Toleranzen von 10% haben. Daher ist die quadratische Summe der Fehler hier : 10.2%.

Maximum der Histogramme Die Bestimmung der Maxima erfolgte mit dem Programm *Kaleidagraph*. Das Fitting der Histogramme lieferte gleichzeitig auch die Fehlergrenzen der Maxima. Diese sind aus den Diagrammen zu entnehmen.

FADC Linearitäts- und Quantisierungsfehler des A/D-Wandlers sind sehr klein und werden hier nicht berücksichtigt.

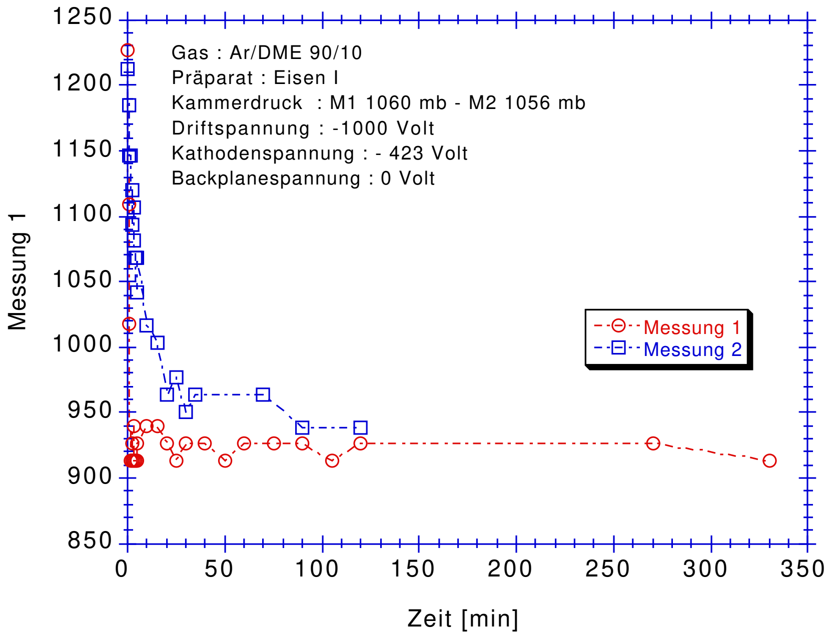

Abbildung 3.18: Änderung des Einschaltverhaltens

Druck Die Werte wurden mit dem Baratron MKS 122A gemessen. Der vom Hersteller angegebene Fehler beträgt ±0.5%. Hinzu kommt der Fehler der Digital- Anzeige. Dieser beträgt typischerweise 1% ± 1 Digit.

Gaszusammensetzung und Gasfluß Die Genauigkeit der Regelung der Gasflüsse beträgt ±0.5% des vollen Bereiches des Reglers.

Einfluß der Fehler auf die Meßwerte Wie oben abgeleitet, lautet die Formel zur Bestimmung der Gasverstärkung:

$$A = \frac{0.869 \times 10^{-3} \times [V]}{e \times N_0 \times V_{Pisa} \times V_{Booster}} \times (X \pm PED) \tag{3.11}$$

Der Faktor 0.869 stammt aus der Eichkurve des FADC. In diesen Wert fließen der Fehler der Spannungsmessung, der Linearitätsfehler und Quantisierungsfehler [9]des FADC ein. V_{Pisa} und $V_{Booster}$ sind mit dem Fehler der Spannungsmessung behaftet. Die quadratische Summe aller Fehler beläuft sich damit auf ca. 5%.

[9]Dieser wird zu ± 1 Bit angenommen. Bezogen auf die Auflösung des FADC sind dies 0.4 %.

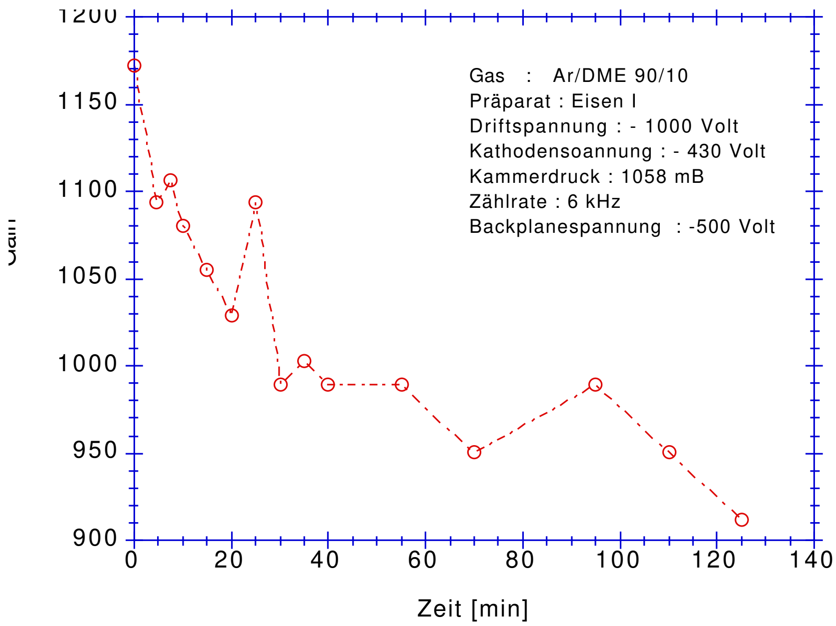

Abbildung 3.19: Einschaltverhalten mit negativer Backplane

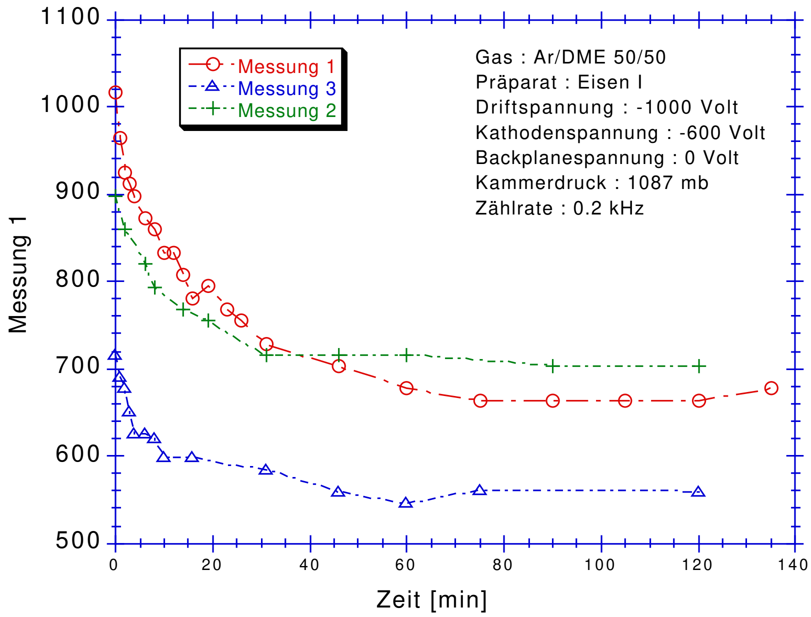

Abbildung 3.20: Unterschiedliches Einschaltverhalten

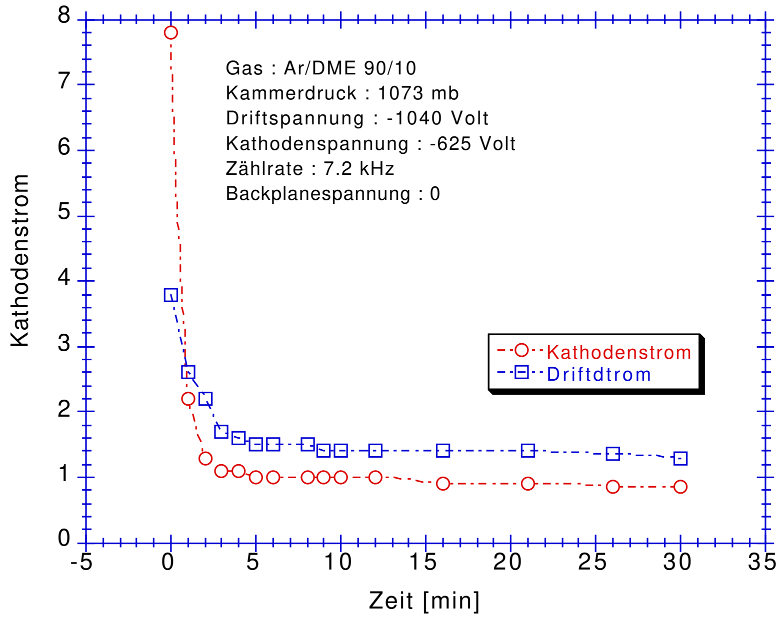

Abbildung 3.21: Einsschaltströme der Kammer

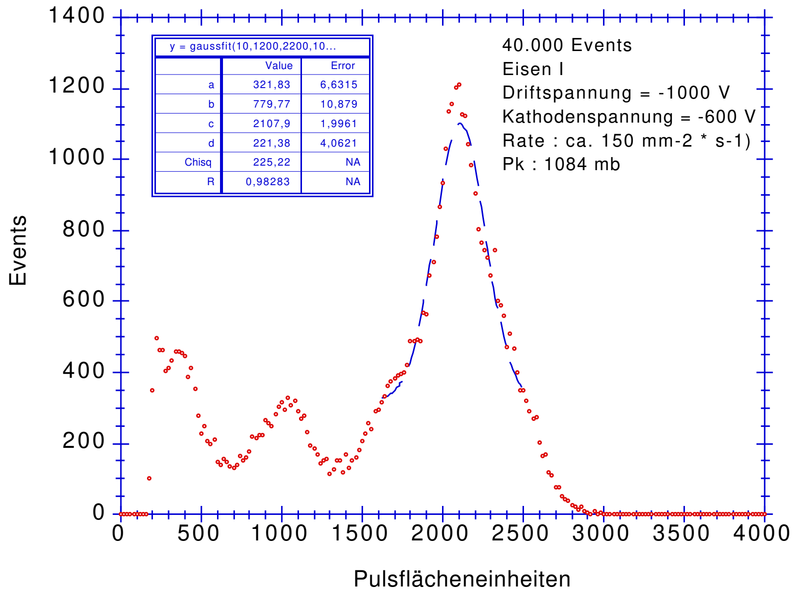

Abbildung 3.22: Fe^{55} Pulsflächenspektrum

Kapitel 4

Diskussion

Ein wesentlicher Teil dieser Arbeit bestand im Aufbau des Teststandes. Der Aufbau, bzw. die Auswahl geeigneter Elektronik nahm ebenfalls einen großen Teil der zur Verfügung stehenden Zeit in Anspruch. Eine beständige Schwierigkeit stellten elektromagnetische Einstreuungen in die Elektronikkette dar. Mögliche Quellen dieser Einstreuungen sind in der Nähe befindliche Elektromotoren (Flow Box) und Rundfunksender deren elektromagnetische Wellen in Kabel einstreuen und Verbraucher am Netz, deren Lastwechsel, zB. durch Ein- und Ausschalten, zu hochfrequenten Störungen führen. Auch das Auslesesystem verursachte starke Störungen durch Einstreuungen in den Analogteil der Elektronik (Vorverstärker). Zahlreiche Änderungen im Aufbau waren notwendig, um diesen Effekten zu begegnen.

Die Streifensimulation mit PSPICE zeigt, daß Chrom aufgrund seiner geringen Leitfähigkeit als Streifenmaterial nur bedingt geeignet ist. Im Vergleich zu Gold werden wesentlich geringere Signalamplituden (Faktor 2) am Ende des Streifens erzielt. Die ebenfalls entstehenden Laufzeiteffekte sind bei zeitkritischen Rahmenbedingungen sicher nicht mehr zu vernachlässigen. Extrapoliert man die ermittelte Laufzeit von 0.5 ns für einen 2cm langen Anodenstreifen linear auf die Streifenlänge der MSGC's die bei HERA-B Verwendung finden (ca. 20cm-25cm), führt dies auf eine Signallaufzeit von ca. 10% des Bunch Crossing Zeitintervalls.

Die Ergebnisse der Messungen der Gasverstärkung bei unterschiedlichen Parametern ist konsistent mit den Ergebnissen anderer Arbeiten [WER]. Die teilweise geringfügige Änderung der Gasverstärkung bei gleichen Parametern, aber unterschiedlicher Elekronik, lassen sich auf Schwierigkeiten bei der Eichung der Elektronikkette zurückführen.

Die relativ starke Abhängigkeit der Gasverstärkung vom Zählgasdruck ist bei kleinen Signalamplituden und feststehender Triggerschwelle sicher problematisch. Bestimmt der äußere Luftdruck den Druck des Zählgases, sinkt die Gasverstärkung der MSGC bei einem Tiefdruck-Hochdruckwechsel (100mb) um ca. 7.5%.

Die Mikrostreifen Gaskammern zeigen ein deutliches Einschaltverhalten. Ein Absinken der Gasverstärkung auf ca. 40 % des Anfangswertes binnen 20 Minuten wie bei 3.4.8 **Messung 1** wurde allerdings nur bei noch nicht gebrauchten Wafern beobachtet. Im Durchschnitt sinkt die Gasverstärkung um ca. 20% in einem Zeitraum von längstens 60 Minuten. Die Probleme bezüglich der Reproduzierbarkeit des Einschaltverhaltens sind unverstanden.

Kapitel 5

Apparativer Teil

5.1 Aufbau eines ersten Prototypen

5.1.1 Zielsetzung

Durch den Aufbau der ersten MSGC-Prototypenkammer am PI sollte eine allgemeine Einschätzung des Betriebsverhaltens möglich werden. Impulshöhe und -verlauf sollten bestimmt und erste Erfahrungen mit diesem relativ neuen Kammertyp gesammelt werden s. [OED2]. Die Kammer sollte mit einfachen Mitteln aufgebaut werden. Zur Verfügung stand ein Wafer [1] des Typs ILL-6C [2] [OED1].

5.1.2 Aufbau der Kammer

Als Ausgangsmaterial fand G10 [3] Verwendung. Dieses Material läßt sich sehr gut fräsen und bohren und besitzt gute Isolationseigenschaften. G10 wird in der Abteilung Galvanik des Physikalischen Instituts (PI) in Form von Platten bevorratet. Diese Platten besitzen verschiedene Stärken bis hin zu 5mm. Bearbeitet wurden diese G10-Platten m.H. einer CNC-Maschine [4] Die Kammer besteht aus aufeinander verschraubten G10-Platten, wobei durch Ausfräsungen ein Hohlraum enstand, der das Zählgas aufnimmt.

Der Schnitt verdeutlicht den Aufbau der Kammer. Diese besteht im wesentlichen aus drei Komponenten : Zentrale Platte, Deckelplatte und Bodenplatte. Die zentrale Platte besitzt eine stufenförmige Ausfräsung zur Aufnahme des Wafers und der Backplane. Boden- und Deckelplatte sind mit Nuten versehen

[1] Ich verwende diesen Begriff in Anlehnung an dessen Bedeutung in der Chipherstellung. Dort bezeichnet er ein i.a. aus Silizium bestehendes scheibenförmiges Substrat, dessen Oberflächenstruktur m.H. lithografischer Verfahren geschaffen wird.

[2] Datenblatt siehe Anhang A

[3] Glasfaserverstärktes Epoxidharz

[4] Ein Programmierbeispiel befindet sich im Anhang

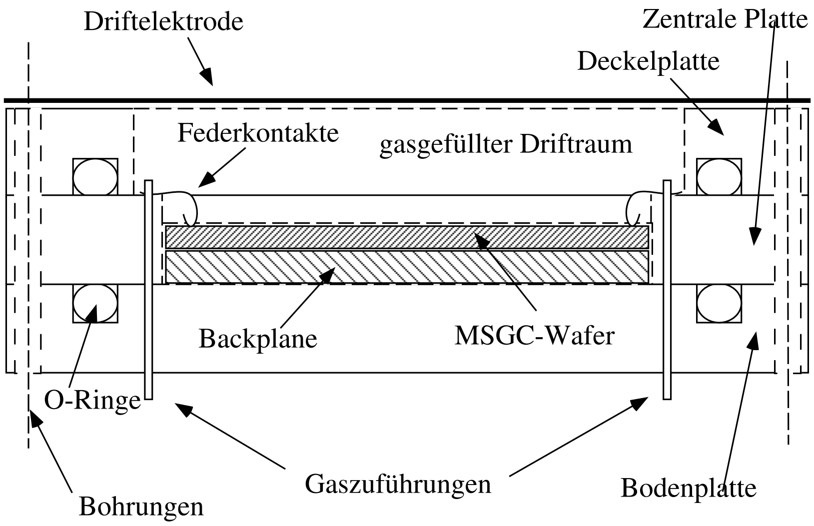

Abbildung 5.1: Skizze des Prototypen

um m.H. von O-Ringen das Kammervolumen abzudichten. Die Deckelplatte besitzt im Gegensatz zur Bodenplatte eine rechteckige Öffnung, die mit einer aluminisierten Mylarfolie abgeschlossen ist. Die aluminisierte Seite der Folie weist zum Wafer. Sie wirkt als Driftelektrode.

Die Kontaktierung der Anodenstreifen- und Potentialstreifenpads [5] erfolgte durch Federkontakte aus Bronze. Diese wurden mit einer Schere aus Bronzeblech geschnitten. Die Backplane besteht aus einer kupferbeschichteten G10-Platte. Ihre Abmessungen entsprechen denen des Wafers. Die Cu-beschichtete Seite weist zum Glassubstrat hin. Mittels einer Durchkontaktierung ist diese Elektrode zugänglich gemacht. Die Driftelektrode ist mittels Leitsilber, das auf eine umgeschlagene Ecke der Folie aufgebracht ist, kontaktiert.

Die Bodenplatte besitzt zwei Bohrungen. In diese sind Metallröhrchen eingeklebt, auf die die Plastikschläuche der Gaszufuhr und des Auspuffs aufgeschoben sind. Die zentrale Platte wurde fotolithografisch mit einer Kupferstruktur [6] (Leiterbahnen) versehen. Die Kontaktfedern konnten so direkt auf die zentrale Platte weichgelötet werden. Die von den Kontaktfedern wegführenden Leiterbahnen enden an einem Steckkontakt. Hier wird der Vorverstärker aufgesteckt. Ebenso ist die Hochspannungsversorgung durch ein entsprechendes Layout an den Wafer herangeführt.

5.1.3 Bau eines Vorverstärkers für die MSGC

Eine grobe Abschätzung der Driftzeiten von Elektronen und Ionen sollte Aufschluß über den zeitlichen Verlauf des Ausgangstromes eines Anodenstreifens ei-

[5] Das Pad ist eine Kontaktfläche, in das die feinen Anoden- bzw. Potentialstreifen einzeln oder in Gruppen (10) zusammenlaufen.

[6] Siehe Anhang B.2

ner MSGC geben. Mit ihrer Hilfe sollte eine qualitative Beurteilung der zukünftigen Kammerpulse möglich werden.

. .

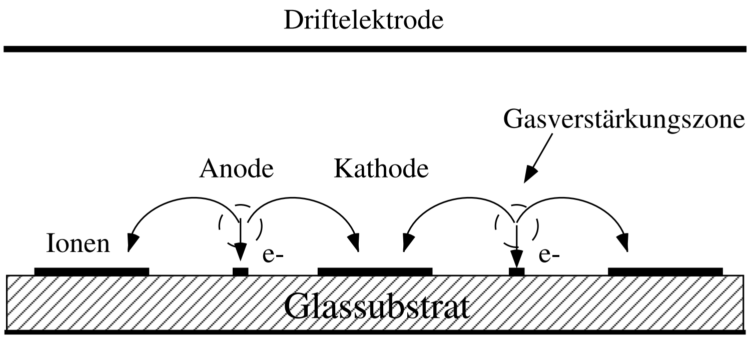

Abbildung 5.2: Driftwege

Dieser Abschätzung liegen folgende vereinfachende Annahmen zugrunde : Die Anodenstreifenkapazität bewege sich in der Größenordnung von Picofarad. Die Summe von Verstärkerinnenwiderstand und Innenwiderstand der Hochspannungsquelle, liege in der Grössenordnung von MΩ. Der Driftweg der Elektronen aus der Lawine betrage 20 μm [BEL2]. Ihre Driftgeschwindigkeit im Zählgas betrage 40 $\frac{mm}{\mu s}$.Die Ionen wandern ausschließlich zur Kathode. Der Driftweg der Ionen beschreibe einen Kreisbogen von 180^0. Ihre Driftgeschwindigkeit sei um den Faktor 1000 kleiner als die der Elektronen. Der Durchmesser des Kreises entspricht dem Abstand der Mittellinien von Anoden- bzw. Kathodenstreifen und betrage 500μm. Hieraus folgt, daß die Elektronen für ihre Driftstrecke aus der Gasverstärkungszone bis zur Anode $\approx 0.5ns$, die Ionen $\approx 10\mu$s benötigen.

Aus der Streifenkapazität und den Widerständen resultiert eine Kammerzeitkonstante von ca. $1\mu s$. Die bei einem Gasverstärkungsvorgang im Gas entstehenden Elektronen- und Ionenströme entladen die Streifenkapazität. Das Hochspannungsnetzteil lädt sie über die beiden Widerstände R_i und R_E mit der Kammerzeitkonstanten wieder auf.

Die Zeitdauer des Driftens der Ionen ist länger als die Zeitkonstante der Kammer. Die Entladung der Streifenkapazität über den Ionenstrom wird daher ständig von dem Aufladevorgang kompensiert. Daher trägt der Ionenstrom nichts zum Kammerpuls bei. Der Driftvorgang der Elektronen ist in 0.5 ns beendet. Diese kurzzeitige Entladung kann nicht kompensiert werden.

Der Kammerpuls für ein Primärelektron sollte daher im Wesentlichen aus einer schnellen Anstiegsflanke von 0.5 ns und einer mit der Kammerzeitkonstanten exponentiell abfallenden Flanke bestehen.

Für diese schnellen Pulse schien kein passender Vorverstärker am PI zu existieren. Die Elektronikwerkstätte empfahl einen FET-Transistor, der für diese Zwecke geignet sei. Der FET mit der Typenbezeichnung SST308 [SIL] besitzt eine Verstärkung [7] von 11.5 dB bei 450 MHz und ein Rauschen kleiner 6 nV$\sqrt{Hz}$ [8] Mit diesem FET wurde eine Sourceschaltung aufgebaut, die einen Videoverstärker speist. vom Type NE592 s. [VAL].

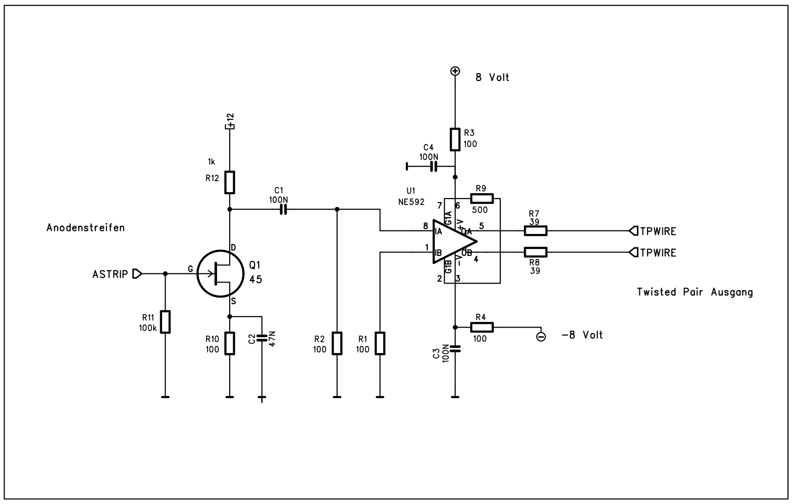

Abbildung 5.3: Vorverstärker

Die Sourceschaltung für diesen selbstleitenden Sperrschicht-Feldeffekttransistor ist eine Standardschaltung [TSC]. Nach dem Test der Schaltung wurde mit der CAD-Software PADS-PCB ein Leiterplatten- Layout realisiert [9].

Abbildung 5.4 macht deutlich, daß nach der Ladungsdeponierung auf dem Anodenstreifen diese Ladung nur über den Eingangswiderstand der Vorstufe nach Masse fließen kann. Bei Vernachlässigung des FET-Eingangswiderstandes [10] und parasitärer Kapazitäten [11] kann die exponentiell ansteigende Kurve eines Kammerpulses als Ladekurve der Streifenkapazität verstanden werden. Über das τ der Ladekurve und den Eingangswiderstand der Schaltung kann die Kapazität des Anodenstreifens bestimmt werden. In den Zuführungsleitungen der Hochspannungen liegt jeweils ein Tiefpaß 2.Ordnung. Dieser dient sowohl zur Siebung als auch zur Strombegrenzung der HV. Seine Übertragungsfunktion lautet :

[7] Verstärkung immer als Leistungsverstärkung verstanden.

[8] Dies ist die Angabe des Herstellers Siliconix. Gemeint ist hiermit : Die effektiv abgegebene Rauschspannung des FET beträgt 6 nV bei einer Bandbreite von einem Hertz. Bei einem Gigahertz Bandbreite sind dies immerhin 190 μV

[9] siehe Anhang

[10] Dieser liegt in der Größenordnung von 50 GΩ

[11] Dies sind in erster Linie die Kapazitäten der Zuführungsleitung

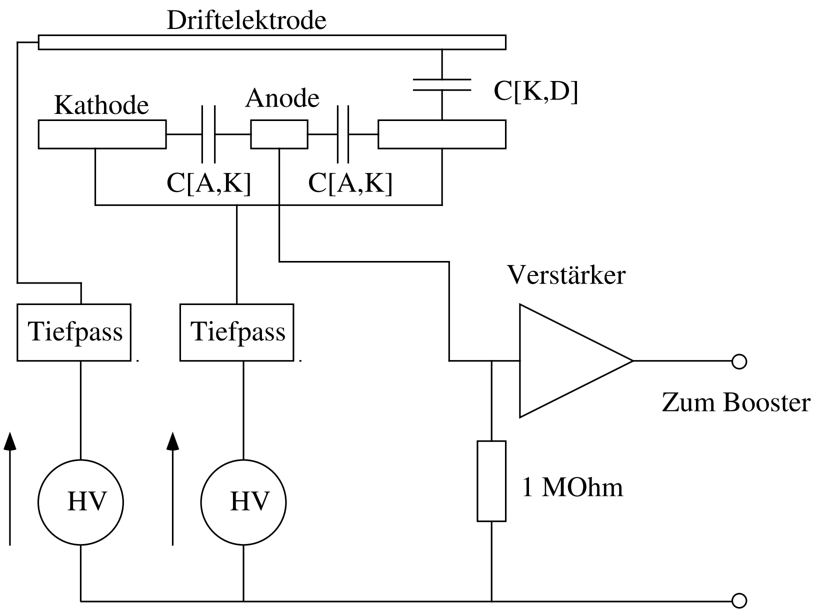

Abbildung 5.4: Elektrische Beschaltung der Kammer

$$G(s) = \frac{1}{R_1 R_2 C^2 s^2 + (2R_1 C + R_2 C)s + 1} \tag{5.1}$$

Hieraus resultiert eine Dämpfung [12] von 91 dB bei einer Frequenz von 1000 Hz. Oder anschaulicher gesprochen : Bei einer der HV überlagerten Störung mit der Frequenz 1000 Hz und der Amplitude 1 Volt erscheint diese am Ausgang des Filters mit einer Amplitude von 30 μV. Bei Netzfrequenz liegt die Dämpfung bei ca. 40 dB. Die sinnvolle Größenordnung [13] des Serienwiderstandes läßt sich wie folgt abschätzen :

$$R_v = \frac{\Delta U_{Rv} \times mittlere \quad Pulsdauer \times Rate \times Sekunden}{Primarionisation \times Gasverstärkung} \tag{5.2}$$

Hierbei ist ΔU_v der zulässige, festzulegende Spannungsabfall [14] am Vorwiderstand R_v. Die Primärionisation ist in As anzugeben.

[12] Die Dämpfung des Filters ist proportional zum Betrag der komplexen Übertragungsfunktion $G(s = j\omega)$

[13] Diese sollte so groß wie möglich gewählt werden.

[14] Sinnvollerweise in der Größenordnung von einem Promille der Hochspannung

5.1.4 PSPICE

Eine einfache Modellierung eines Anodenstreifens mit Hilfe von PSPICE [15], einem Simulationsprogramm zur Analyse elektronischer Schaltungen, ermöglicht einen groben Einblick in das Geschehen auf dem Anodenstreifen einer MSGC. Untersucht wurde hier anhand eines Beispiels inwieweit die Schichtdicke und die spezifische Leitfähigkeit des Anodenmaterials und die Geometrie der Streifen Einfluß auf das dynamische Verhalten der auf dem Anodenstreifen deponierten Ladung haben. Es wurden folgende vereinfachende Annahmen gemacht :

- Die Selbstinduktivität eines Anodenstreifens ist vernachlässigbar
- Die Kapazität eines Streifens beträgt ca. 1 pF
- Die Unterteilung des Streifens in zehn Vierpole als Elemente eines homogenen Kettenleiters ist ausreichend für die angestrebten Aussagen.
- Die alleinige Betrachtung der Elektronenströme ist ausreichend.

Die Elemente eines Kettenleiters sind Vierpole [KUP]. In diesem Fall sind es einfache RC-Glieder. Der Anodenstreifen wird äquidistant in N Teile unterteilt. Diese Teilstücke besitzen dann einen Widerstand $R = \frac{R_{Gesamt}}{N}$ bzw. eine Kapazität $C = \frac{C_{Gesamt}}{N}$. Der Kettenleiter hat dann folgendes Aussehen :

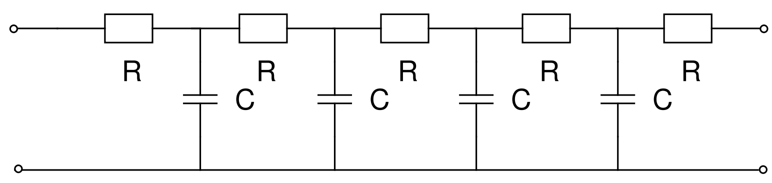

Abbildung 5.5: Kettenleiterstruktur

Die bei dem Lawinenprozess in der Kammer entstehende Ladung kann man sich zu einem bestimmten Zeitpunkt T_0 auf einem dieser Kondensatoren deponiert denken. Der zeitliche Verlauf der Verteilung der Ladung längs des Anodenstreifens bzw. die Spannung auf den Kondensatoren ist die von PSPICE berechenbare physikalische Größe. Der Wert der Anodenstreifen Teilwiderstände ist gleich dem Gesamtwiderstand dividiert durch zehn. Der Kathodenstreifenwiderstand ist um den Faktor 200 zu 8 (Breitenverhältnis der Streifen) kleiner als der Anodengesamtwiderstand. Da die Kathode die Anode beidseitig umgibt, liegen diese Teilwiderstände parallel.

[15] Simulation Programm with Integrated Circuit Emphasis

Allgemeines

PSPICE arbeitet nach dem Prinzip der Knotenanalyse [SPI]. Das Programm erstellt eine Leitwertmatrixgleichung die durch eine LU-Faktorisierung der Matrix und Vowärts- Rückwärtseinsetzen gelöst wird. Die Elemente a_{ii} der Hauptdiagonalen der Matrix sind die Leitwerte die diesem Knoten i angeschlossen sind. PSPICE stellt neben passiven Bauelementen auch eine Reihe von aktiven Bauelementen wie Bipolartransistoren bzw. deren SPICE-Modelle zur Verfügung. Diese Modelle können vom Benutzer parametrisiert werden. Somit können spezielle Bauteileparameter und Kenngrössen in die PSPICE-Modelle übernommen werden. Ebenso können gesteuerte Quellen [16] definiert und in die Schaltung aufgenommen werden. Eine solche steuerbare Quelle wurde zur Simulation der Ladungsdeponierung verwendet.

Berechnung streifenspezifischer Größen

Widerstandsbelag Der ohmsche Widerstand längs des Anodenstreifens aus Chrom lautet :

$$R_A = \rho \left[\frac{\Omega mm^2}{m}\right] \frac{l[m]}{A[mm^2]}$$

Für Struktur 3 [17] folgt hieraus ein Gesamtwiderstand von:

$$R_A = 2.466 k\Omega$$

bzw. ein Widerstandsbelag von :

$$R_A^* = 1.233 \frac{k\Omega}{cm}$$

Die Leitfähigkeit von Gold ist um ca. eine Größenordnung besser. Der Widerstand des Streifens betrüge dann ca. 350 Ohm.

Kapazitätsbelag In dieser Näherung wird der Anodenstreifen, der eingebettet zwischen zwei Kathodenstreifen liegt, als Leitung verstanden. Die Näherungsformel für die Kapazität zweier paralleler Leiter, wobei das Verhältnis halber Abstand a zu Radius r der Leiter groß sein soll, lautet [KUP]:

$$C \approx \frac{\pi \epsilon l}{\ln \frac{2a}{r}} \qquad \text{für} \quad a \gg r \tag{5.3}$$

Wobei l die Länge der Leiter darstellt. Der Radius r wird bestimmt aus der Umrechnung des Umfanges des rechteckigen Anodenstreifen in einen Kreis

[16] Eine gesteuerte Quelle ist eine Strom- oder Spannungsquelle, deren Ausgangsgröße von der Zeit, von einer Steuerspannung oder einem Steuerstrom abhängig ist.

[17] Daten siehe Anhang.

gleichen Umfanges. Die Feldlinien zu anderen Elektroden als der Kathode bleiben aufgrund des grossen Abstandes dabei unberücksichtigt. Ein Wert von 0.35 pF wurde für die Struktur ILL-6C berechnet. Dieser stimmt relativ gut überein mit dem experimentell bestimmten Wert [18] von 1 pF überein. Dieser ist natürlich größer, da die Kapazität der FET-Eingangsstufe und Leitungskapazitäten hinzukommen. Es wird daher davon ausgegangen, dass die obige näherungsweise Berechnung der Streifenkapazität Ergebnisse liefert, die zumindest in der Grössenordnung der wirklichen Werte liegen [BEL1]. Eine Berechnung der Kapazität eines Anodenstreifen der Struktur 3 liefert einen Wert von 0.34 pF.

Induktivitätsbelag Die Selbstinduktivität eines geraden Leiters mit Radius r beträgt [KUP] :

$$L = \frac{\mu}{2\pi} l (\ln \frac{2l}{r} - \frac{3}{4})$$

Wobei r zu $\sqrt{\frac{B_A H_A}{\pi}}$ angenommen wird.

B_A und H_A sind die Breite und Höhe des Anodenstreifens. Der Wert der Induktivität beträgt dann 38 nH. Dieser Wert ist sehr klein und wird bei dieser Betrachtung vernachlässigt.

Modellierung der Ladungsdeponierung Der Vorgang der Ladungsdeponierung auf dem Anodenstreifen wird mit einer Stromquelle nachgebildet. Diese Stromquelle liefert die Gesamtladung die bei der Gasverstärkung eines Elektrons in der Kammer entsteht. Der zeitliche Verlauf des Stromes wurde dem Ergebnis einer Monte-Carlo-Simulation [BEL2] nachgebildet. Die Anstiegszeit des Pulses beträgt 10 ps und die Zeitkonstante des exponentiellen Abfalls beträgt 1 ns. Der Spitzenwert des Stromes liegt bei 1.6 μA.

Das Integral des Stromes über der Zeit beträgt 1.6×10^{-14}As entsprechend 100.000 Elektronen.

Ergebnisse

In den nachfolgenden Diagrammen bezeichnet $V(1)$ den zeitlichen Verlauf des Potentials am Ort des Eintreffens der Lawine (Am Anfang des Streifens), $V(11)$ den zeitlichen Verlauf des Potentials am Ende des Streifens (Vorverstärker) und $I(r21)$ ist der Strom in den Vorverstärker hinein.

Die Diagramme 5.6 - 5.8 zeigen die Streifensimulation für Gold. Der Spitzenwert des Stromes am Ausgang des Streifens beträgt ca. 1.5 μA.

[18] s.6.1.4 Seite 29

Abbildung 5.6: Potentialverlauf am Ort des Eintreffens der Lawine (Au)

Abbildung 5.7: Potentialverlauf am Ende des Streifens (Au)

Die Simulation für Chrom zeigt (Diagramme 5.9 - 5.11), daß das Potental un der Strom am Ausgang nahezu halb so groß sind wie bei Gold. Im Unterschied zu Gold besitzt der Chrom-Anodenstreifen eine merkliche Signallaufzeit. Das Maximum des Potentials bzw. des Stromes am Ende des 2 cm langen Streifens erscheint nach ca. 0.5 ns.

Bestünde der Streifen aus einer Chrom/Nickel-Legierung mit einer vierfach geringeren Leitfähigkeit wie Chrom, betrüge die Laufzeit des Signals ca. 2.5 ns.

Abbildung 5.8: Strom in den Vorverstärker (Au)

Abbildung 5.9: Potentialverlauf am Ort des Eintreffens der Lawine (Cr)

5.1.5 Betrieb der Kammer

Der Wafer ist aufgrund der Feinheit der Leiterstruktur auf seiner Oberfläche sehr empfindlich gegen mechanische Beanspruchungen [19] . Verunreinigungen der Oberfläche aller Art hingegen beinträchtigen den Betrieb der Kammer. Staubpartikel, die auf den Elektroden liegen, können zu Feldemissionen führen, die die Zerstörung der Streifen zur Folge haben. Bei der mikroskopischen Untersuchung der Oberflächen auf Verunreinigungen und Schäden wurde die Grössenordnung der Schmutzpartikel und der Anoden deutlich. Eine effiziente Reinigung der

[19] Wobei die mit Chrom beschichteten Wafer erheblich robuster sind als die mit Aluminium bzw. Gold beschichteten

Abbildung 5.10: Potentialverlauf am Ende des Streifens (Cr)

Abbildung 5.11: Strom in den Vorverstärker (Cr)

Wafer war absolut notwendig. Die Reinigungsprozedur, die die Firma Baumer-IMT für MSGC empfiehlt, wurde übernommen :

- Tauchbad in Aceton (10 min.)
- Spülung mit VE-Wasser
- Tauchbad in Isopropanol (10 min.)
- Spülung mit VE-Wasser
- Abblasen mit Stickstoff

Als Zählgas stand eine Argon-Methan-Mischung (90/10) zur Verfügung. Dieses wurde durch die Kammer hindurch und durch einen Auspuff ins Freie geleitet. Zwei Fluke HV-Netzteile lieferten die notwendigen Hochspannungen. Zum Test der Kammer wurde ein Americiumpräparat [20] verwendet. Die Driftspannung wurde auf 800 Volt eingestellt und bei langsamer Erhöhung der Kathodenspannung von 0 Volt an, zeigten sich bei 350 Volt die ersten Kammerpulse.

Abbildung 5.12: Kammerpuls des Prototypen

Die grafische Bestimmung der Zeitkonstanten der exponentiell abklingenden Pulse führte auf einen Wert von 10 μs. Da der Eingangswiderstand der Schaltung bei 1 MΩ liegt, resultiert hieraus eine Gesamtkapazität der Streifen von 10 pF. Eine grobe rechnerische Näherung führt auf 8.2 pF. In dieser Näherung wird der Anodenstreifen, der eingebettet zwischen zwei Kathodenstreifen liegt, als Leitung verstanden (siehe 5.1).

Durch die Wahl einer kleineren Zeitkonstanten $\tau = 1\mu$s wurden die Pulse verkürzt. Somit waren auch höhere Zahlraten [21] ohne Pulsüberlappungen möglich.

Die bei der dieser Kammer eingesetzten Materialien [22] waren indes nicht geeignet eine optimale Gaszusammensetzung in der Kammer zu gewährleisten.

[20] Americium ist ein α-Strahler mit einer Energie von 5.27 MeV und einer Halbwertszeit von 8×10^3 Jahren

[21] Zählrate wird hier verstanden als Pulse pro Sekunde. Weiter unten wird eine auf die Fläche bezogene Zählrate von Bedeutung sein.

[22] G10, also Epoxidharz inc. Restbeständen von Lösungsmitteln, Mylarfolie, O-Ringe u.a.m.

Gasverunreinigung führen jedoch zu vorzeitigen Alterungseffekten der Kammer s.[?]. Ebenso war die Kammer durch das Layout zu sehr auf einen bestimmten Wafertyp (Ill-6C) zugeschnitten.

5.2 Aufbau eines hochreinen MSGC-Teststandes

5.2.1 Zielsetzung

Der aufzubauende Teststand sollte folgenden Anforderungen genügen :

- Flexibler Aufbau der Kammer
- Hochreines Kammerinneres
- Hochreines Gassystem mit präziser Gasmischung
- FADC[23] -Einsatz zur A/D-Wandlung der Kammerpulse und rechnergesteuerte FADC-Auslese und Analyse der Daten

Um einen flexiblen mechanischen Aufbau zu gewährleisten, wurde ein Edelstahltopf verwendet, in den die Kammerelemente eingebaut werden sollten. Dieser Topf verfügt über einen Deckel, der mit dem restlichen Gehäuse flanschartig zu verschrauben ist. Die Unterseite des Deckels ist mit einer O-Ring-Nut zur Abdichtung versehen. Zwei Kleinflansche an den kurzen Seitenwänden ließen sich für die Gasversorgung verwenden.

Für den hochreinen Aufbau der Kammer im Stahltopf durften nur Materialien Verwendung finden, die ein absolutes Mindestmaß an Verunreinigungen durch Ausgasung verursachten.

Das Gassystem sollte natürlich den Anforderungen an Reinheit ebenso genügen wie die Kammer selbst, bzw. diese übertreffen, und die Mischungen von unterschiedlichen Gasen möglich machen.

Das Auslesesystem [24] sollte die digitalisierten Kammerpulse des FADC im VME-Bus-Crate auslesen und durch ein in LabView geschriebenes Programm [25] darstellen und auswerten können.

[23]FADC steht für Flash Analog Digital Converter. Dies ist das schnellste aber auch aufwendigste Verfahren zur A/D-Wandlung.

[24]Darunter verstehe man einen Apple Macintosh der über ein MacVEE (Microcomputer Applied to the Control of VME Electronic Equipment) Interface verfügt. Dieses besteht aus einer Nubus Karte und einer VME-Karte die mittels zweier 64-poligen Twisted-Pair-Kabel verbunden sind. Grob vereinfacht dargestellt realisiert die Hardware ein Memory-Mapping zwischen diesen beiden unterschiedlichen Bussystemen Nubus und VME-Bus. Eine Software ermöglicht die Kontrolle des Ganzen.

[25]Autor: M. Feuerstack

5.2.2 Konstruktion der Kammer

Bei der Beschreibung der konstruktiven Merkmale der Kammer beschränke ich mich bei den folgenden Zeichnungen auf eine Darstellung des Wesentlichen.

Abbildung 5.13: Langsschnitt durch die Kammer

Wir sehen hier einen Längsschnitt durch die kürzere Se ite der Kammer. Dieser liegt unsymmetrisch zur Mittellinie und ermöglicht so einen Schnitt durch die Isolatoren etc. Zu sehen ist das U-förmige Topfprofil (H). Auf diesem liegt der Deckel (F) auf. An den Seitenwänden links und rechts sind zwei Flacheisen (G) mit ovalem Durchbruch aufgeschweißt. Darauf verschraubt sind die Seitendeckel (E), die mit Keramikdurchführungen [26] versehen sind. Auf der Bodenplatte des Profils (A) sind insgesamt vier Gewindebolzen zur Verschraubung der Isolatorstützen [27] aufgeschweißt. In den Boden der Kammer ist ein Kleinflansch DN KF 50 [28] mit Rohransatz eingeschweißt. Somit kann der Stahltopf direkt mit einer Vakuumpumpe evakuuiert werden. Die Keramikisolatoren sind

[26] Typ 552-2548 bezogen von der Friatec AG Steinzeugstrasse in 68229 Mannheim. Die Flansche wurden im PI angefertigt ,die Durchführungen wurden bei der Friatec AG eingeschweisst (Elektronenstrahl).

[27] Typ 558-1162 von Friatec

[28] DN : Durchmesser Nennweite ; KF : Kleinflansch

beidseitig mit Metallgewinden versehen. Darauf ist die Basisplatte mit modifizierten Innensechskant-Schrauben verschraubt. Der Schraubenkopf wurde auf drei Millimeter Höhe abgedreht und mit einer Stirnbohrung versehen. In diesen Bohrungen befinden sich Keramikröhrchen, die Metallkappen tragen. Auf diesen liegt die somit von der Basisplatte (B) isolierte Deckelelektrode (I) auf. Auf der Basisplatte befindet sich die Trägerplatte (C) für den Wafer. Diese ist über Paßstifte auf der Basisplatte (B) durch ihr Eigengewicht fixiert. Der Wafer sitzt in einer entsprechenden Vertiefung dieser Basisplatte und fluchtet mit dieser. Durch unterschiedliche Basisplatten können in Grenzen unterschiedliche Wafer eingesetzt werden. Der Abstand der Deckelelektrode zum Wafer kann einfach über die Länge der verwendeten Keramikröhrchen bestimmt werden. Rechts und links neben der Basisplatte liegen kupferbeschichtete Keramikplatinen (J). Diese sind mit jeweils zwei Schrauben auf der Trägerplatte befestigt. Zu diesem Zweck besitzt die Trägerplatte Langlöcher. Somit können die Keramikplatinen an den in der Basisplatte befindlichen Wafer herangeführt werden. Auf den Keramikplatinen sind Leiterbahnstrukturen aufgebracht, die auf die Bronzefedern gelötet sind. Diese dienen wie bei dem Prototypen zur Kontaktierung der Pads. Durch unterschiedliche Keramikplatinen können also auch unterschiedliche Padabstände kontaktiert werden.

An der Unterseite des Deckels (F) befindet sich ein Drehteller (K). Dieser ist kugelgelagert und mittels eines Gewindebolzens mit dem Deckel verschraubt. Der Drehteller besitzt mehrere Bohrungen mit Gewinde , die zur Aufnahme von radioaktiven Präparaten (M) dienen. Somit lassen sich unterschiedliche radioaktive Quellen gleichzeitig in dem Topf unterbringen und einzeln über der aktiven Fläche des Wafers positionieren. Die Quellen beeinflussen sich hierbei aufgrund ihrer Strahlungscharakteristik nicht.

In der Aufsicht wird die Padkontaktierung noch etwas deutlicher. In der Mitte des Bildes befindet sich der Wafer. Dieser liegt auf der Trägerplatte auf. An beiden Seiten liegen die Keramikplatinen an. Die Metallstifte der Keramikdurchführungen sind mit versilberten Kupferdrähten mit den Keramikplatinen elektrisch verbunden. Die Kupferschicht der Keramik musste, um Unterätzungen [29] zu vermeiden, zuerst auf 0.1 mm heruntergeätzt werden. Die Keramik selbst hat eine Stärke von 0.6 mm, die Kupferschicht eine Stärke von 0.3 mm. Nach fünf Durchgängen in der Ätzmaschine der Galvanik war dies erreicht.

Die Driftelektrode, deren Längsschnitt in Bild 5.9 zu sehen ist, [30] besteht aus einem Kupferrahmen, der mit Berylliumdraht ($\not{o} = 50\ \mu$m, Abstand : 100 μm) umwickelt ist. Die daraus resultierende Welligkeit des elektrischen Feldes in der Kammer verläuft längs der Anoden- bzw. Potentialstreifen und mittelt sich somit heraus. Bei einer um 90^0 gedrehten Anordnung der Deckelelektrode gäbe es Streifen mit unterschiedlicher Gasverstärkung.

[29] Der Unterätzfaktor $F = \frac{d}{s}$ soll grösser als zwei sein. (d sei die Ätztiefe und s die Unterätzung)

[30] Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist diese in den anderen Abbildungen nicht

Abbildung 5.14: Draufsicht der Kammer

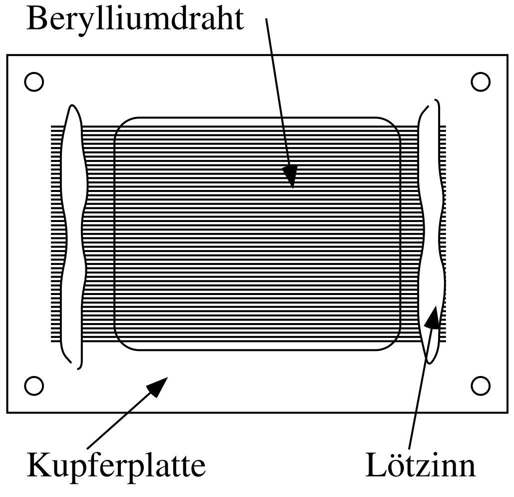

Abbildung 5.15: Die Driftelektrode

Aufgrund der sehr hohen Wärmekapazität und Leitfähigkeit des Kupfers

eingezeichnet.

mußte die Lötung in einem Ofen erfolgen. Als Lötzinn wurde SMD-Lötpaste [31] verwendet.

5.2.3 Konstruktion des Gassytems

Allgemeiner Aufbau

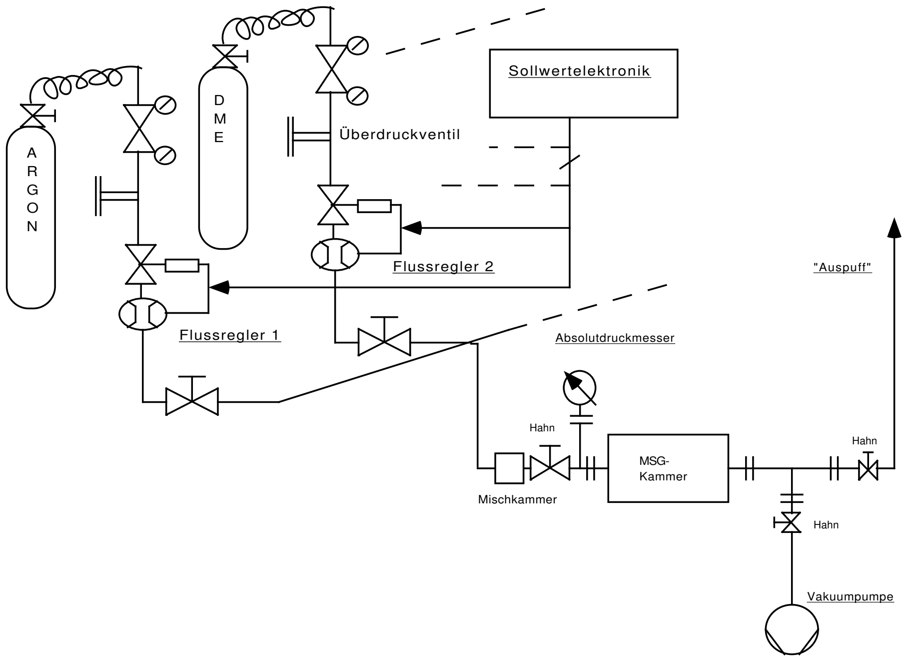

Abbildung 5.16: Das Gassystem

Das Gassystem ist auf Durchflußbetrieb ausgerichtet. Das heißt die Gase durchströmen die Kammer und werden als Abgas ins Freie geleitet. Im Gegensatz dazu steht das Umwälzprinzip. Der Vorteil des Durchflußbetriebes liegt im wesentlich einfacheren Aufbau. Nachteilig ist der hohe Gasverbrauch. Die obige Skizze zeigt die wesentlichen Komponenten [32] des Gassystems. Jede der vier Gasflaschen ist an einen Druckminderer [33] angeschlossen. Dieser reduziert den Flaschendruck auf den zulässigen Vordruck für die Flußregler [34].Den Reglern

[31] Demetron SnPbAg 62/36/2 Schmelzpunkt: 179^o

[32] Die Spezifikationen der einzelnen Komponenten sind dem Anhang zu entnehmen

[33] Typ DruVa SMD 600-80

[34] Typ Mass Flow Meter 358C und Mass Flow Controller 1359C von MKS. Diese beiden Komponenten sind in einem Gehäuse untergebracht. Diese Einheit von Stellglied und Regelelektronik wird hier als Regler bezeichnet. Technische Daten sind dem Anhang zu entnehmen

folgen Absperrhähne. Die Abgänge der Absperrhähne münden in eine Mischkammer. Diese Kammer ist ein aus Edelstahl gefertigter Kubus, der mit sechs Röhrchen versehen ist, die zentral auf den Seitenflächen sitzen. Ein Röhrchen ist mit einem Blindstopfen versehen. Der Ausgang der Kammer führt über eine Flußverzweigung und Flußzusammenführung, zwecks besserer Vermischung, und einem weiteren Absperrhahn direkt in den Stahltopf in der die Kammer untergebracht ist. Daneben ist ein Absolutdruckmesser [35] zur Überwachung des Zählgasdruckes angebracht. Der Ausgang des Stahltopfes führt über einen Absperrhahn und Blubberer [36] ins Freie. Die Verrohrung des Systems erfolgte mit 6mm Edelstahlrohren und Swagelok Schraub-Klemm-Verbindungen bzw. mit Kleinflanschverbindungen[37] unterschiedlicher Nennweite, wobei hier EPDM[38]-O-Ringe Verwendung fanden, da diese DME-resistent sind.

Die Steuerelektronik

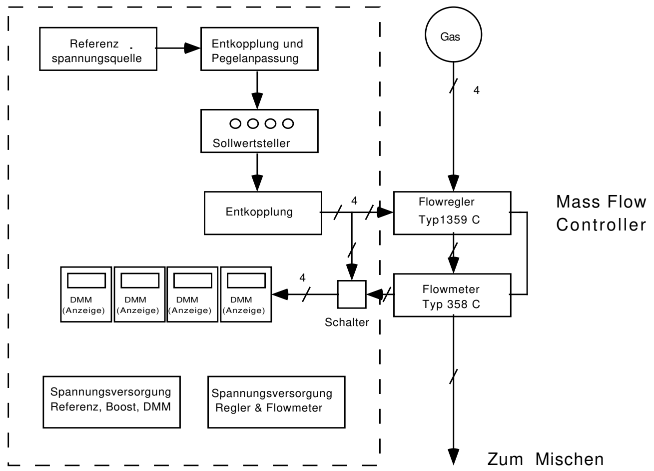

Abbildung 5.17: Prinzipieller Aufbau der Steuerelektronik

Die eingesetzten Flußregler benötigen eine bipolare Versorgungsspannung von 15 Volt. Sie besitzen einen Spannungseingang für die Vorgabe des Sollwertes der

[35] Typ MKS Baratron 122A

[36] Ein Blubberer ist ein mit einer Flüssigkeit niedrigen Dampfdruckes gefülltes Gefäss in das Abgas unter der Oberfläche der Flüssigkeit eingeleitet wird. Somit entstehen keine Verunreinigungen des Systems durch Rückdiffusion (Die Partialdrücke innerhalb des Systems sind u.U. Null wie hier für Sauerstoff, da das Zählgas keinen Sauerstoffanteil besitzt.).

[37] DIN 28403

[38] Äthylen-Propylen Dien-Kautschuk :

Regelung. Diese Spannung bewegt sich zwischen 0 und 5 Volt und entspricht 0 % bzw. 100% des maximal möglichen Flusses des jeweiligen Reglers [39]. Ein Ausgang liefert den Istwert des Flusses in dem gleichen Spannungsbereich. Dieser Istwert wird über ein LCD-Display angezeigt. Zwei weitere Eingänge dienen zum Öffnen und Schließen der Ventile.

Zentrales Bauelement der Elektronik ist eine Referenzspannungsquelle ZN-REF 040 [40]. Diese hochstabile Referenzspannung [41] wird für jeden Kanal getrennt entkoppelt und auf einen Pegel von 5 Volt verstärkt. Die Ausgangsstufe stellt die notwendige Leistung zur Ansteuerung der Flußregler zur Verfügung. Die Entkopplungs- und Ausgangsstufen sind mit dem Operationsverstärker OP-07 realisiert. Er hat eine kleine Offsetspannung (25 μVolt) und einen geringen Temperaturgang der Offsetspannung [42]. 10-Gang Wendelpotentiometer dienen zur Einstellung der Ausgangsspannung und somit des Flusses.

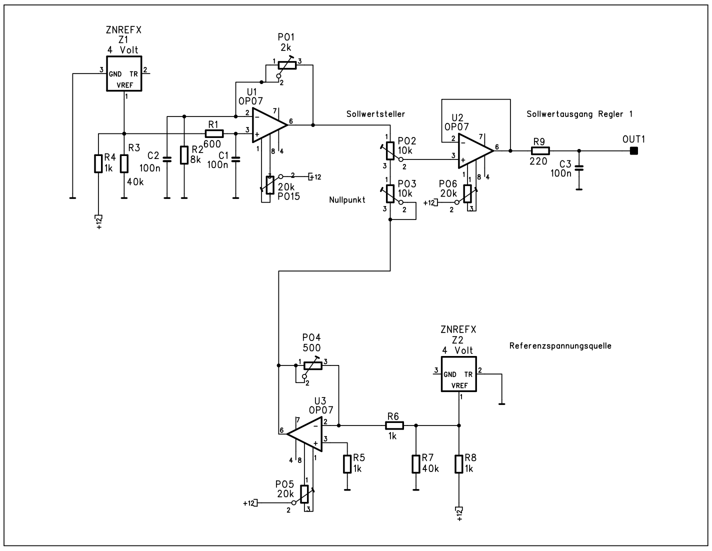

Abbildung 5.18: Elektronik zur Erzeugung der Steuerspannung (Sollwert)

Das Layout der Schaltung wurde ebenso wie die Platinen für den Prototypen mit dem Elektronik CAD Programm PADS-PCB entwickelt. Die Platine ist zusammen mit den Netzteilen, einem Lüfter und den LCD-Anzeigen in einem 19-Zoll-Gehäuse untergebracht. Auf der Vorderseite befinden sich die Bedienelemente und Anzeigen sowie die Verbindungskabel für die Flußregler. Diese enden an einem 25-poligen Steckverbinder.

[39] Die Regler besitzen unterschiedliche Regelbereiche (2000,200,20 sccm/min)
[40] Ferranti Semiconductors
[41] Temperaturgang $50\frac{ppm}{°C}$
[42] Temperaturkoeffizient der Eingangsfehlspannung

Das Rack

Die Bestandteile des Gassystems sind in einem Rack [43] untergebracht. Die vier Flußregler sind auf einem Aluminium U-Profil aufgeschraubt und im vorderen Rahmen des Rack integriert und mit der darunter befindlichen Steuerelektronik über die Kabel verbunden. Unterhalb der Steuerelektronik befindet sich in einem weiterem Aluminiumprofil das Display des Absolutdruckmessers. Auf der linkem Seite des Racks befinden sich die Druckminderer [44]. Auf halber Höhe ist ein Boden eingezogen auf dem der Stahltopf mit Kammer verschraubt ist. Unterhalb des Bodens sitzt ein Stahltank, der allerdings keine Verwendung fand.

Qualität der Gaszusammensetzung

Die Reinheit des Gassystems hängt im Wesentlichen von zwei Dingen ab :

- Undichtigkeiten des Systems (Leckrate)
- Gasabgaben der Oberflächen (Ausgasung)

Keine Vakuumapparatur ist absolut vakuumdicht. Die Leckrate einer Apparatur hat also nur in Zusammenhang mit dem effektiven Saugvermögen der Vakuumpumpe oder eines Gasflusses eine Aussagekraft. Die hier angestrebte Reinheit des Systems sollte zumindest in der Größenordnung der Qualität der verwendeteten Reingase liegen. Argon 5.0 z.B. besitzt Fremdanteile kleiner 10 ppm. Das Verwendete DME [45] hat einen Wasseranteil von $\leq$100 ppm, Methanol $\leq$1 ppm, Abdampfrückstände $\leq$10 ppm, $C_1 - C_4$-Verbindungen $\leq$50 ppm.

Nachdem die Apparatur [46] mit einem Helium-Lecksucher auf Dichtigkeit überprüft wurde [47], wurde sie an einen Vakuumpumpstand angeflanscht und evakuiert. Dieser Pumpstand war mit einer Drehkolbenpumpe als Vorpumpe und einer Turbomolekularpumpe ausgestattet. Nach der Evakuuierung wurde der zwischen Pumpstand und Apparatur befindliche Vakuumschieber geschlossen und der Druckanstieg im Inneren der Apparatur m.H. einer Penning- Vakuummeßröhre gemessen.

Der Druckverlauf besitzt zwei charakteristische Bereiche. Im Bereich 0s - 120s überlagern sich der Leckstrom und die Ausgasung der Oberflächen. Im Bereich 120s - 600s dominiert der Leckstrom. Das heißt, das unbekannte Gas, das durch die Oberflächen in die Apparatur eingebracht wird, befindet sich im Partialdruckgleichgewicht.

---

[43] Rahmengestell mit Rollen.

[44] Das Rack wurde von Herrn Rummel von der mechanischen Werkstätte hergerichtet und mit den Druckminderern versehen.

[45] Dimethylether: C_2H_6O

[46] mit Apparatur ist in diesem Absatz immer das Gassystem mit Rohren, Reglern, Druckminderern und der Stahltopf mit MSGC gemeint.

[47] Es waren hierbei zahlreiche Undichtigkeiten festzustellen. Sowohl bei den Swagelok Schraubklemmverbindungen, wie auch bei den Kleinflanschverbindungen.

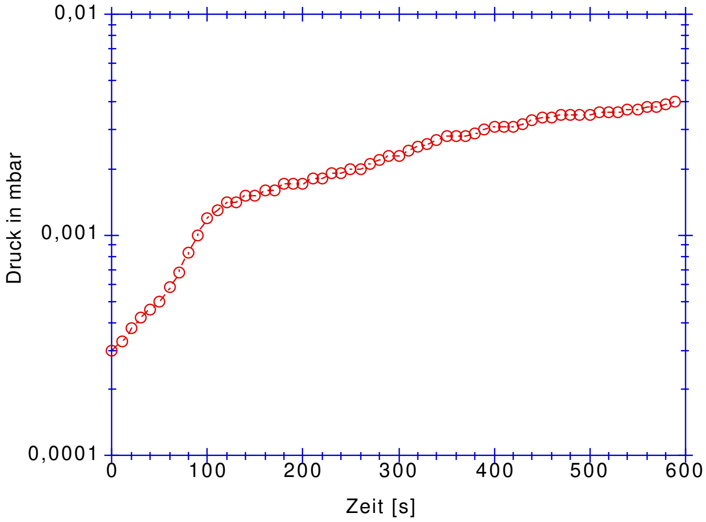

Abbildung 5.19: Druckanstieg nach Evakuierung

Mit Hilfe der Steigung des Druckanstieges und dem Volumen der Apparatur läßt sich die Leckrate wie folgt bestimmen s.[LEY]:

$$Q = \frac{\Delta P \times V}{\Delta t} \tag{5.4}$$

Das Volumen der Apparatur beträgt :

Topfvolumen :	2.210 Liter
Verrohrung ca.:	0.075 Liter
KF-Flansche ca.:	0.150 Liter
Gesamtvolumen V_N:	2.435 Liter

Daraus folgt die Leckrate zu:

$$\frac{2.6 \times 10^{-3} mb \times 2.435 l}{480 s} = 1.3 \times 10^{-5} \frac{mb \times l}{s} \tag{5.5}$$

Dies ist als hinreichend dicht zu betrachten s.[LEY]. Sehr dichte Apparaturen liegen mit ihrer Leckrate in der Größenordnung von $\leq 10^{-6} \frac{mbar \times l}{s}$.

Das Ausheizen des Topfes und der Verrohrung, um das Ausgasen der Oberflächen zu beschleunigen und ggf. zu beenden, war nicht erfolgreich.

Bezieht man den Druckanstieg ΔP auf den Normaldruck P_N von 1 bar, gilt folgende Relation:

$$\frac{\Delta P}{P_N} = \frac{\Delta V}{V_N} \tag{5.6}$$

Hieraus folgt :

$$\Delta V = 6.331 \times 10^{-6} l \tag{5.7}$$

Also beträgt der Ausgasungsfluß Φ_{LA} in die Kammer:

$$\Phi_{LA} = \frac{\Delta V}{\Delta T} = 13.2 \times 10^{-9} \frac{l}{s} \tag{5.8}$$

Bezieht man den Gasfluß Φ_{LA} der durch Lecks und Ausgasungen entsteht auf den Durchfluss Φ_{ZG} durch die Apparatur, hat man ein Maß für die Verunreinigung :

$$\frac{\Phi_{LA}}{\Phi_{ZG}} \times 10^{+6} = \text{Verunreinigung in ppm}$$

Gibt man das maximale Maß der Verunreinigung vor, erhält man den notwendigen Gasfluß durch die Kammer. Bei 1ppm beträgt dieser dann $13.2 \times 10^{-3} \frac{l}{s}$ oder $0.792 \frac{l}{min}$.

5.2.4 Elektronikkette und Auslesesystem

Allgemeiner Aufbau

Der direkt an der Kammer angebrachte Pisa-Vorverstärker ist mit dem Booster-Verstärker über ein Twisted-Pair (TP) Kabel verbunden. Der differentielle Ausgang des Boosters ist mit dem Eingang des FADC ebenso mit einem TP-Kabel verbunden. Der separate Ausgang des Boosters ist mit dem Eingang des Diskriminators verkabelt. Dieser Ausgang führt zur Triggerelektronik. Diese steuert das Gate des FADC. Der Macintosh ist via MacVEE-Karte mit dem FADC verbunden.

Der Vorverstärker aus Pisa

Vom weiteren Einsatz des Vorverstärkers des Prototypen wurde abgesehen, da ein speziell für den Einsatz mit MSGC entwickelter Vorverstärker vorlag. Dieser wurde am INFN der Universität Pisa entwickelt. Es ist ein ladungsempfindlicher Vorverstärker mit Pole-Zero-Cancelation [48]. Seine Verstärkung beträgt

[48] Hier wird ein Pol und eine Nullstelle in die Übertragungsfunktion eingebaut um die Bandbreite und Stabilität zu erhöhen.

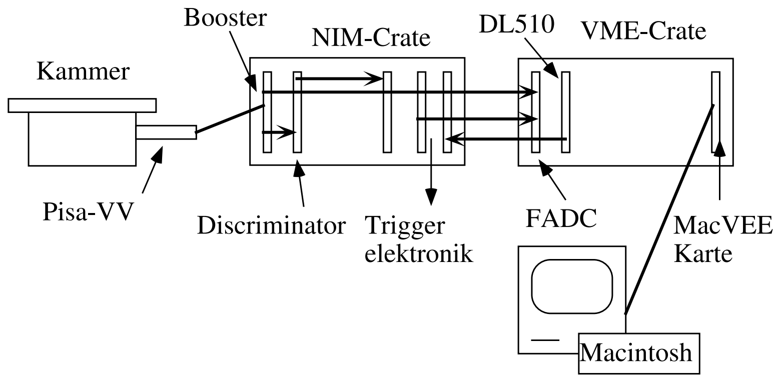

Abbildung 5.20: Elektronikkette und Auslesesystem

$\frac{1.2Volt}{pC}$. Der lineare Aussteuerungsbereich am Ausgang reicht von 0 mV bis 80 mV. Der Ausgang ist differentiell ausgeführt und treibt AC-gekoppelte Lasten bis hinunter zu 120 Ohm [49]. Die Speisespannung beträgt sechs Volt. Das Widerstandsrauschen ist äquivalent zu einem 5 kOhm Widerstand (parallel) plus 50 Ohm seriell. Die Äquivalente Rauschladung [50] beträgt 2000 Elektronen bei einer Eingangskapazität des Verstärkers von 22 pF. Das Netzteil muß pro Kanal 50 mW Leistung zur Verfügung stellen. Dieser Verstärker ist als Hybrid mit vier Kanälen aufgebaut. Die Verstärker sind in einem NIM-Einschub-Gehäuse untergebracht. Diese sind seitlich an die Abdeckungen der Keramikdurchführungen angeflanscht, um die Leitungslängen vom Anodenstreifen bis hin zur ersten Verstärkerstufe möglichst kurz zu halten.

Der Booster

Die nachfolgende Verstärkerstufe war notwendig geworden, da der Eingangsaussteuerbereich des A/D-Wandlers bei ca. 220 mV, die maximale Ausgangsspannung des Pisaverstärkers jedoch bei 80 mV liegt. Der für die BDC [51] des H1-Detektors von der Elektronikwerkstätte des PI entwickelte Vorverstärker V141 war für diesen Zweck, wie Tests zeigten, geeignet.

Eine geringfügige Änderung der Beschaltung schuf einen von einem differentiellen Ausgang unabhängigen weiteren Ausgang. Dieses diskriminierte Ausgangssignal war als Signal für die Triggerelektronik geeignet.

[49] Also auch Twisted-Pair-Kabel mit ca. 120 Ohm Impedanz
[50] ENC Equivalent Noise Charge
[51] Backward Drift Chamber

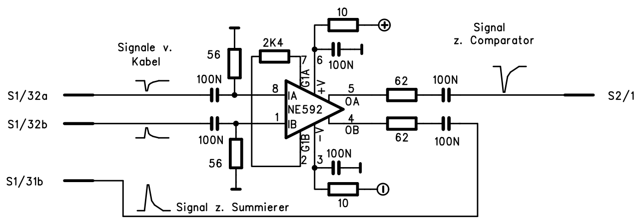

Abbildung 5.21: Der Verstärker V141

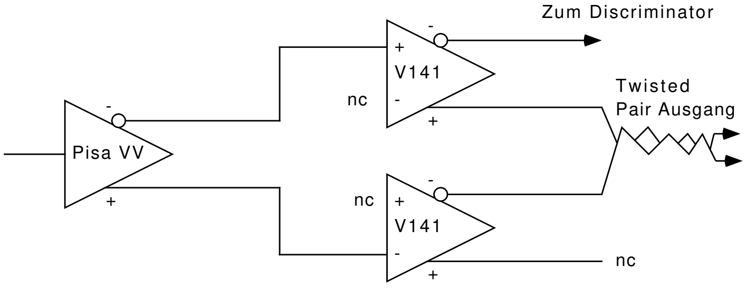

Abbildung 5.22: Nachverstärker (Booster)

Der Analog/Digital-Wandler

Das A/D-Wandler-Modul DL-401 wurde in der elektronischen Werkstätte des PI entwickelt. Kernstück des Moduls ist ein integrierter Baustein des Typs AD9002 von Analog Devices. Es ist ein 8-Bit Flash-ADC [52]. Die maximale Wandlungsrate beträgt typisch 150 MHz. Aufgrund dieser hohen Eingangsbandbreite ist am Eingang keine Sample & Hold-Schaltung notwendig. Vier dieser Bausteine sind zusammen mit jeweils 1024 Byte RAM auf einer VME-Karte untergebracht. Ein interner Systemtakt von 100 MHz versorgt den A/D-Wandler. Es ist aber ebenso möglich, einen externen Systemtakt anzuschließen. Zwei Betriebsmodi sind möglich :

- Commonstop-Modus
- Commonstart- oder Autostopmodus

[52] Für die hier gehäuft auftretenden Anglizismen bitte ich um Entschuldigung

Im Commonstop-Modus laufen die A/D-Wandler frei, d.h. sie wandeln permanent die an den vier Eingängen anliegenden Analogsignale. Der Speicher wird dabei als Ringspeicher betrieben. [53]. Geht das von außen herangeführte GATE-Signal auf logisch Null, stoppt die Konvertierung. Im Commonstart-Modus (Autostop-Modus) startet die Wandlung mit dem aktiven Gate-Signal und stoppt, nachdem der Speicher mit 1024 Werten beschrieben wurde, oder das Gate-Signal inaktiv wird. Im Commonstart-Modus benötigt man eine sehr schnelle Triggerlogik und eine zusätzliche Signalverzögerung m.H. eines Laufzeitkabels. Daher war der Commonstop-Modus der geeignete. Für eine flexible Handhabung des Commonstop-Modus fehlte nur noch eine entsprechende Triggerlogik mit variablem Timing.

Die Triggerelektronik

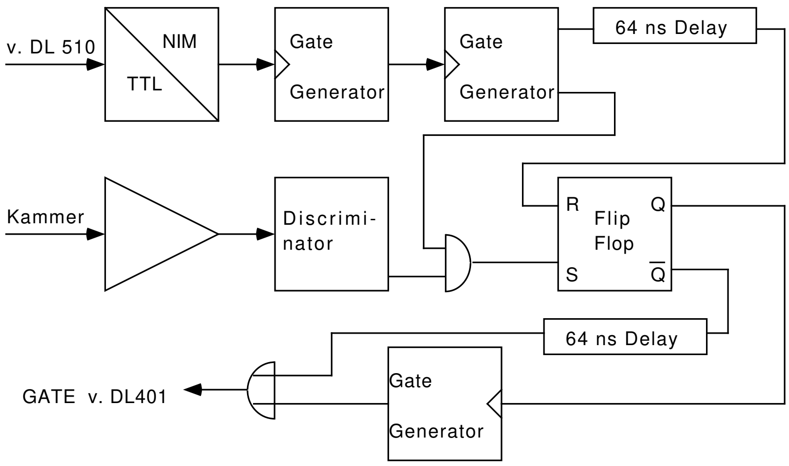

Abbildung 5.23: Die Triggerelektronik

Die Triggerelektronik realisiert folgende Aufgaben :

- Generierung des GATE-Signals für den A/D-Wandler DL-401
- Variabler $\overline{GATE}$-Zeitpunkt
- Rücksetzbare Trigger-Sperre

Das Flip-Flop der Schaltung, hier mit zwei kreuzgekoppelten NOR-Gliedern realisiert, wird durch ein ankommendes Diskriminatorsignal gesetzt. Der Ausgang $\overline{Q}$ wird *low* [54]. Dieses Signal und ein direkt daraus abgeleiter Puls variabler

[53] Der Adresszähler bleibt bei $3FF$ nicht stehen sondern nimmt den Wert 000 beim nächsten Taktzyklus an. Die vorigen Werte werden also überschrieben.

[54] Hier sind die logischen Zustände 0 oder 1 gemeint, nicht ihre jeweilige sie darstellende physikalische Grösse.

Länge (Gate-Generator) werden in einem ODER-Glied zusammengeführt. $\overline{Q}$ wird also um die Zeitdauer des Gate-Generatorpulses verzögert. Diese Variabilität ermöglicht eine beliebige Positionierung des digitalisierten Signals innerhalb des Zeitfensters $1024 \times \frac{1}{100MHz} = 10.24\mu s$. Weitere Diskriminatorsignale haben keine Auswirkung auf die Schaltung, die Triggerelektronik ist inaktiv. Das digitalisierte Signal kann jetzt aus dem Speicher des A/D-Wandlers m.H. des Auslesesystems ausgelesen werden. Nach erfolgter Auslese wird das Flip Flop über einen von dem Auslesesystem kommenden Puls wieder zurückgesetzt. Dieser Puls kommt aus einem digitalen I/O-Modul vom Typ DL-510. Es wird ebenso wie der A/D-Wandler über das MacVEE Interface angesprochen.

Macintosh, MacVEE-Interface und Software Das MacVEE [55] Interface besteht aus drei Komponenten :

- Nubus-Karte für den MacIntosh Computer
- MacVEE-Karte für das VME-Crate
- Twisted-Pair Verbindungskabel

In dieser Form wird es dann MICRON [56] genannt. Mit Hilfe dieses Interfaces kann der Prozessor 68020 des Macintosh II 128 MByte eines VME-Moduls direkt adressieren [MIC].

Die Steckplätz des Nubus im Macintosh besitzen Adressen ($0 bis $E). Der Sitz der MacVEE-Karte entscheidet nun über den Adreßbereich, in den der in einem VME-Modul vorhandene Speicher eingemappt [57] wird. Es wird damit der sogenannte SUPERSLOT Adreßraum festgelegt. Befindet sich die MacVEE-Karte in Slot A, ist der Adreßraum $A000.0000 - $AFFF.FFFF und umfasst so 256 MB. In diesem Adreßbereich können allerdings nur 128 MB adressiert werden, da das Adreßbit A27 ignoriert wird [58]. In diesem Adreßraum können acht VME-Crates mit jeweils 16 MB adressiert werden.

Die Auslesesoftware ist in LabVIEW geschrieben [59] . Die aktuelle Version (4/95) hat u.a. folgende Eigenschaften :

- Mehrkanal-Auslese
- Signaldarstellung
- Erstellung von Pulsflächenhistogrammen
- Erstellung von Pulshöhenhistogrammen

[55] Microcomputer to the Control of VME Electronic Equipment.
[56] MacVEE Interface Card Resident On NuBus
[57] Einblenden eines Speicherbereichs in den Adreßraum eines Prozessors.
[58] Imaging Effekt
[59] Autor : M. Feuerstack PI

- Speicherung der Daten

Mit ihrer Hilfe wurden die vorliegenden Histogramme erstellt.

5.3 Vorarbeiten und Kammerbetrieb

5.3.1 Waferpassivierung

Die feldkritischen Stellen der Anoden-Kathodenstrukturen liegen auf der Seite, an der die Anodenstreifen kontaktiert werden. Hier kommt es zu einer erhöhten Feldliniendichte auf der Kathodenseite. Feldemission von Elektronen und gasverstärkte Ionenströme sind die möglichen Folgen, die u.U. zur Zerstörung der Strukturen führen. Die Erfahrung zeigte, daß Spannungsspitzen oder Überspannungen der Kathodenspannung zu einer sofortigen Zerstörung nicht nur einzelner Streifen sondern von ganzen Streifengruppen [60] ja auch von Streifen die potentialfrei waren, führte.

Durch eine Abdeckung dieser sensiblen Bereiche war eine wesentliche Verbesserung zu erreichen. Die erste Passivierung wurde mit einem Glasstreifen durchgeführt, der mit einem speziellen lösungsmittelfreien Klebstoff [61] auf die kritischen Stellen aufgeklebt wurde. Aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten verwarf sich der Wafer allerdings. Dies führte zu Kontaktierungsproblemen mit den Bronzefedern. Anschließende Passivierungen wurden alleinig mit diesem Klebstoff durchgeführt, der mit einem Pinsel aufgebracht wurde. Es kam dabei immer noch zu einer leichten Verformung des Wafers. Diese beeinträchtigte die Kontaktierung allerdings nicht mehr. Die so passivierten Wafer konnten dann in der Kammer eingesetzt werden.

5.3.2 Strom/Spannungswandler

Das Messen der Ströme der verschiedenen Elektroden der MSGC ermöglicht Aussagen über die Gasverstärkung und darüber, zu welcher Elektrode die Ionen fließen bzw. wie sie sich auf die verschiedenen Elektroden verteilen. Dies ist von Bedeutung für die Totzeit bzw. Erholzeit des Detektors. Bei der angestrebten Betriebsart, bei der die Anode das Bezugspotential darstellt ($\varphi = 0$), liegen Deckelelektrode und Potentialstreifen auf relativ hohen negativen Potentialen [62].

Das Messen kleiner [63] Ströme auf hohen Potentialen stellt kein grundsätzliches Problem dar. Der Strommesser muß die nötige Isolationsfestigkeit und

[60] Eine Streifengruppe ist eine Gruppe von Anodenstreifen, die auf dem Wafer elektrisch verbunden sind.

[61] Typ Epotek H72. Ein Zweikomponenten Epoxidharzkleber, der im Ofen bei 100 ° C in 20 Minuten aushärtet.

[62] $U_P \approx 600V, U_D \approx 1kV - 2kV$

[63] Im nA-Bereich

Abbildung 5.24: Zerstörungen der Strukturen

Auflösung besitzen. Das vorhandene Meßintrument [64] wies zwar die notwendige Auflösung aus, war jedoch nur bis zu $400V$ zwischen *Low* oder *High* gegen Masse isoliert.

Die Verwendung marktüblicher Digitalmultimeter-Module stellte eine Möglichkeit dar. In einem isolierenden Gehäuse wären sie auch genügend betriebssicher. Der Nachteil dieser DMM liegt in ihrem relativ geringen Innenwiderstand. Dieser führt zu einem systematischen Messfehler des gemessenen Stromes (s.Abb. 5.25).

Der zu messende Strom I verzweigt in dem Knoten 1 in I_1 und I_2. Die Grundempfindlichkeit der DMM liegt typischerweise bei 200 mV. Daraus resul-

[64] Keithley 2001 DMM

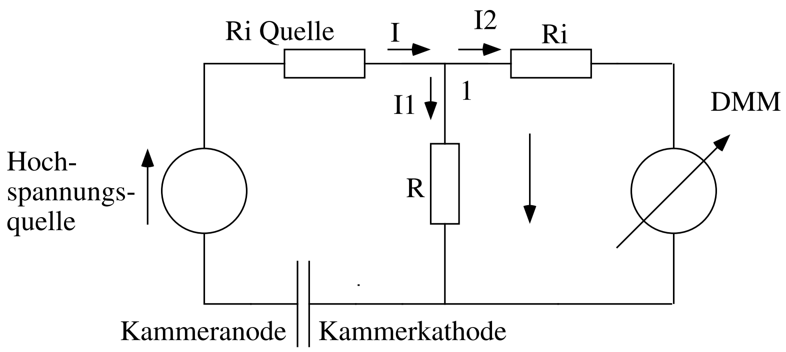

Abbildung 5.25: Ersatzschaltbild Strommessung

tiert der Widerstand, der zu einen stromproportionalen Spannungsabfall an R führt. Bei einem Meßbereich von 1 nA beträgt R= 200 MΩ. Dieser Wert liegt in der Größenordnung des Eingangswiderstandes des DMM. Der Strom kann also nur bis auf einen Faktor 2 genau bestimmt werden.

Zur Messung kleiner Ströme wurde aus diesem Grund eine Schaltung aufgebaut, die diesen Nachteil nicht besitzt. U. Werthenbach setzte eine ähnliche Schaltung zur Messung von Strömen ein [WER] (s.Abb.5.26).

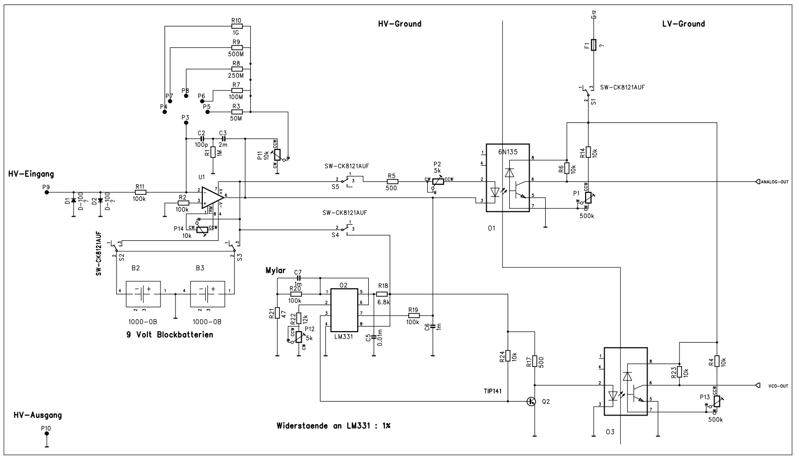

Abbildung 5.26: Nanoamperemeter

Der Kern der Schaltung ist der Operationsverstärker Typ LM11 von National Semiconductor. Charakteristisch für diesen Operationsverstärker ist der geringe *biascurrent* von 25 pA. Als Inverter beschaltet, liefert er eine dem Eingangsstrom proportionale Ausgangsspannung, die einen Optokoppler Typ 6N135 treibt. Dieser ist eigentlich für digitale Anwendungen gedacht. Erhält die Infrarotleuchtdiode jedoch einen Vorstrom liegt der Arbeitspunkt in einem Bereich nahezu linearen differentiellen Widerstandes der Diode. Alternativ zu diesem analogen Ausgang wurde ein digitaler Ausgang entworfen, der eine der Ausgangsspannung des Operationsverstärkers proportionale Frequenz liefert. Dieser Teil der Schaltung wurde jedoch nicht aufgebaut. Die Aufnahme einer Eichkurve zeigte, daß der Messfehler der Schaltung aufgrund der Nichtlinearität der Kennlinie bei ca. $\pm 5\%$ liegt (s. Abb. 5.27).

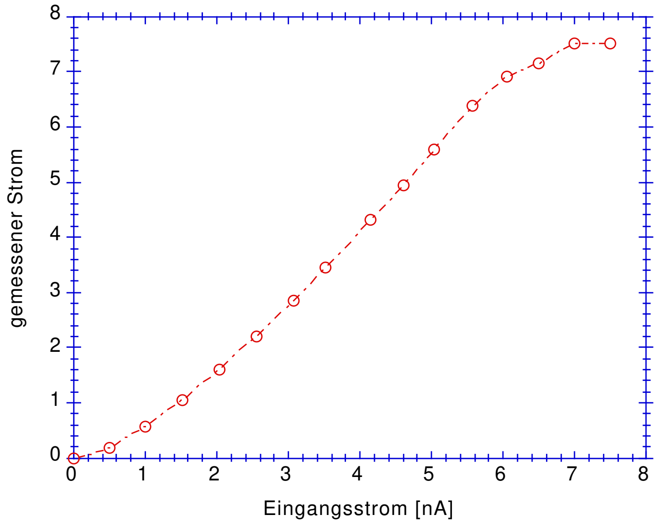

Abbildung 5.27: Eichkurve des nA-V-Wandlers

5.3.3 Z-Kleber

Die Kontaktierung der Wafer mittels Bronzefedern hat zwei wesentliche Nachteile :

- Überschläge von den Federn zu der darüber befindlichen Deckelelektrode
- Es können keine Strukturen mit kleinen PAD-Abständen kontaktiert werden

Ein neues Kontaktverfahren aus der Elektronik ist geeignet diese Probleme zu umgehen. Es ist eine leitfähige Klebeverbindung, Z-Kleber genannt. Eingebettet in ein Folienträger aus Kunststoff liegen Metallkügelchen mit einem mittleren Durchmesser von $50\mu m$. Diese sind wahllos in geringer Dichte in dem Substrat verteilt. Wirkt ein ausreichender Druck auf die Folie in Richtung der Flächennormalen (Z-Achse), kommt es zur Berührung der Metallperlen und somit zu einer leitfähigen Verbindung in dieser Richtung (s. Abb. 5.28).

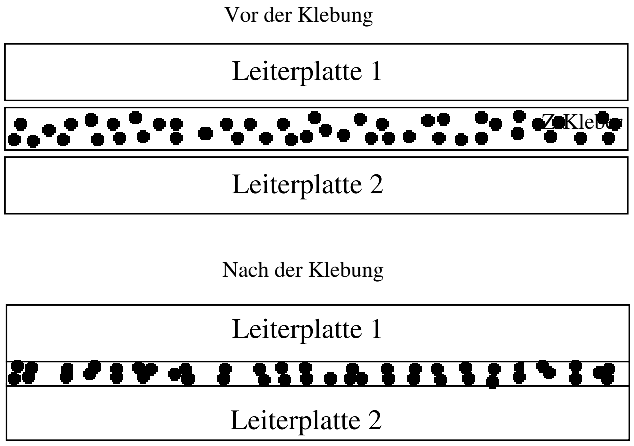

Abbildung 5.28: Z-Klebung

Eine kombinierte Druck- Wärmebehandlung sorgt für das Aushärten der Klebeverbindung im leitenden Zustand :

Temperatur [^0C]	Zeit [$Std.$]	Druck [psi]
80	8	1-3
100	4	
125	1.5	
150	0.5	
200	5 min	

Ein psi entspricht 6.89×10^3 Pascal oder $\frac{70g \times 9.81 \frac{m}{s^2}}{cm^2}$

Die Kontaktierung der Struktur 1 mit einem Padabstand von $400\mu m$ war nicht mehr mit Bronzefedern zu realisieren. Für diese Struktur wurde ein *Fan Out* entworfen. Es besteht aus einer mit einer Pad- und Leiterbahnstruktur versehenen Kaptonfolie die mittels Z-Kleber auf den Wafer geklebt wurde. Eine Seite der Kaptonfolie weist vergleichbare Padabmessungen auf wie der Wafer, die andere Seite besitzt einen wesentlich grösseren Abstand zwischen den Pads. Diese waren somit leicht zu kontaktieren.

Für die Klebung wurde eine Vorrichtung entworfen, die den Wafer aufnimmt und positioniert und den nötigen Anpressdruck über den Kontaktpads herstellt. Pads. Diese waren somit leicht zu kontaktieren.

Anhang A

Waferkenngrössen

	Struktur 3	**Ill-6C**
Anodenstreifenbreite :	8 μm	8 μm
Potentialstreifenbreite :	200 μm	400 μm
Abstand :	60 μm	300 μm
Pitch :	328 μm	1008 μm
Anodenstreifen :	100	40
Potentialstreifen :	101	41
sensitive Fläche :	661.20 mm^2	1200 mm^2
Glassubstrat :	D263 300μm	D263 550 μm
Metallschicht (Chrom):	0.15 μm	0.15 μm

Die Masterkennung der Struktur 3 lautet : 210892 ST-Maske IFT/MM-PG

	Struktur 1
Anodenstreifenbreite :	10 μm
Potentialstreifenbreite :	90 μm
Abstand :	50 μm
Pitch :	200 μm
Anodenstreifen :	100
Potentialstreifen :	1
sensitive Fläche :	400 mm^2
Glassubstrat :	D263 300 μm
Metallschicht (Chrom):	0.15 μm

Die Anodenstreifen werden zu zwei Seiten hin einzeln herausgeführt. Der Potentialstreifen ist ein durchgehendes Band.
Die Kennung der Struktur 1 lautet : 301191 MX1 Struktur Maske IFT/MM-PG

Anhang B

Ionisation durch $^{95}_{241}$Am-α-Teilchen

Die aus dem Zerfall von Americium herrührenden α-Teilchen legen auf dem Weg in das Innere der Kammer eine Teilstrecke in Argon zurück. Hierbei verlieren sie durch Ionisation von einen Teil ihrer Energie. Falls sie die verbleibende Energie nicht vollständig an das Zählgas in Kammer abgeben können, deponieren sie diese auf dem Wafer. Die Formel für die Reichweite [GRU] der Teilchen in Luft lautet :

$$R_\alpha = 0.31 E_{kin}^{\frac{3}{2}} [cm] \tag{B.1}$$

Wobei die Energie in MeV gemessen ist. Die Reichweite der α-Teilchen in Luft ist somit 3.75 cm.

Die Formel für die Reichweite in anderen Stoffen lautet :

$$R_\alpha = 3.2 \times 10^{-4} \frac{\sqrt{A}}{\rho} R_{Luft} [cm] \tag{B.2}$$

Die α-Teilchen legen auf ihrem Weg bis zum Driftraum der Kammer eine Strecke von ca. 0.7 cm zurück. Bei angenommener linearer Energieabgabe über dem Weg, verlieren sie dabei 15% ihre Energie. Im Driftraum deponieren sie weitere 10%. Die verbleibenden 75% der Gesamtenergie werden an den Wafer abgegeben. Die Energiedeposition in Argon beträgt damit ca. 0.5 MeV. Bei einer mittleren Ionisierungsenergie des Argons von 26 eV führt dies auf ca. 20.000 Primärelektronen. Die Primärionisation eines γ-Quants aus einer ^{55}Fe-Quelle ist wesentlich geringer. Es erzeugt in Argon ca. 230 Elektronen.

Literaturverzeichnis

[BEL1] R. Bellazzini et al.
A thin large area Microstrip Gas Chamber
with strip and pad read-out
INFN Pisa (1993)

[BEL2] R. Bellazzini and M. Spezziga
Electric field, avalanche growth and signal developement
in Micro-Strip Gas Chamber and Micro-Gap Chamber
INFN-Pisa and University of Pisa (1994)

[BNL] V. Radeka
Detector Signal Processing
Brookhaven National Laboratory
Upton NY

[BRON] Bronstein Semendjajew
Taschenbuch der Mathematik
Verlag Harry Deutsch (1989)

[CERN1] F.Sauli et al. RD-28
Developement of Micro-Strip Gas Chambers for Radiation
Detection and Tracking at high Rates
CERN/DRDC/93-34 RD-28 Status Report (1993)

[CERN2] Sauli et al.
Aging Studies With Micro-Strip Gas Chambers
CERN Geneva (1994)

[CERN3] F.Sauli et al.
RD-10 A study to improve the radiation hardness of gaseous
detectors for use at very high luminosities
Cern/DRDC/93-52 RD-10 Status Report (1993)

[CERN4] F. Sauli et al.
Ageing Studies with Micro-Strip Gas Chambers
CERNPPE/94

[CERN5] F. Sauli et al.
Optimization Of Microstrip Gas Chamber Design
And Operating Conditions
CERN-PPE/94-27

[EIS] F. Eisele
Spezifikationen der Betriebsparameter
der MSGC Detektoren für HERA-B
Interne Mitteilung

[GRU] C. Grupen
Teilchendetektoren
BI Wissentschaftsverlag (1993)

[IMT] Auftragsbestätigung Baumer IMT

[KUP] K. Kupfmuller
Theoretische Elektrotechnik
Springer Verlag Heidelberg

[PROP] HERA-B
An Experiment to Study CP Violation in the B System
Using an Internal Target at The HERA Proton Ring.
Proposal DESY-PRC 94/02 (1994)

[LAB] National Instruments Corporation
LabVIEW 2 User Manual
Austin TX

[LEY] Leybold Heraeus
Grundlagen der Vakuumtechnik,
Berechnungen und Tabellen

[MIC] B.G. Taylor
The MICRON User Manual Rev.1.0

[MEL] J. Millman
Micro-Electronics
McGraw Hill (1979)

[OED1] Layout der Maske ILL-6C (Loseblatt)

[OED2] A. Oed
Position Sensitive Detector with Microstrip Gas Anode for Electron
NIM A263 (1988)

[PROP] HERA-B
An Experiment to Study CP Violation in the B System Using an Internal
Target at The HERA Proton Ring.
Design Report DESY-PRC 95/01 (1995)

[SIL] Siliconix Datenbuch

[SPI] E.Hoefer H.Nielinger
SPICE
Springer Verlag Heidelberg (1985)

[TSC] Tietze Schenk
Schaltungstechnik
Springer Verlag Heidelberg

[VAL] VALVO Datenbuch

[WER] U. Werthenbach
Systematische Untersuchungen zur Funktion von Mikrostreifengaszählern
Dissertation (1994) Universität Gesamthochschule Siegen

[WIL] R. Wilhelm
Aufbau eines Teststandes zur Auslese von Testkammern für die Rückwärtsdriftkammer (BDC) des H1-Experimentes und Bestimmung von
Betriebsparametern mit verschiedenen Driftgasen
Diplomarbeit (1994) PI Universität Heidelberg

Abbildungsverzeichnis

Erklärung :

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

Heidelberg, den 7.6.1995