

**Entwicklung und Aufbau von
Testverfahren für die
ALICE TRD Auslekammern**

Diplomarbeit von

Sedat Altinpinar
Technische Universität Darmstadt

Durchgeführt bei der
Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH,

Darmstadt

April 2006

Zusammenfassung

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit Testverfahren zur Qualifizierung von ALICE TRD Ausleseammern. Um die Funktionstüchtigkeit der TRD Ausleseammern zu gewährleisten werden eine Reihe von Tests durchgeführt. Die Weiterentwicklung vorhandener Tests ist wesentlicher Bestandteil dieser Diplomarbeit. Die Tests geben während der Herstellung der Kammern wichtige Auskunft über eventuelle Produktionsfehler und über ausreichende Qualität zur effizienten Teilchendetektion. Die Tests erfüllen im Bezug auf Funktionstüchtigkeit auch den Zweck einer endgültigen Bestätigung nach der Produktion. Die Testkriterien wurden detailliert erläutert und auch Resultate der Tests vorgestellt. Für die bei der GSI gefertigten und vollständig getesteten TRD Ausleseammern wurden zusammenfassende Statistiken erstellt. Es konnten auch Schlußfolgerungen zu den Grenzen der Dimensionierung von diesartigen TRD Ausleseammern gemacht werden. Eine kleine Untersuchung zum Absorptionsverhalten der Streben im Radiator der Detektorkammern befindet sich auch im Umfang dieser Arbeit. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde der speziell angefertigte Teststand optimiert und es wurden notwendige Software Programme zur Steuerung und Auslesung geschrieben. Diese Programme wurden hier teilweise behandelt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Das Quark-Gluon Plasma	1
1.2	Das ALICE Experiment	3
2	Übergangsstrahlungsdetektoren	7
2.1	Übergangsstrahlung und das Konzept des TRD	7
2.2	Aufbau und Funktionsweise der ALICE TRD Auslesekammern	8
2.2.1	Der Radiator	8
2.2.2	Driftkammer und Kathodenplatte	10
2.2.3	Funktionsweise der ALICE TRD Kammern	11
3	Testverfahren für Übergangsstrahlungsdetektoren	13
3.1	Teststand	13
3.2	Steuerungssoftware Labview	15
3.3	Überblick Qualitätstests	16
3.3.1	Leckrate	16
3.3.2	Absolute Gasverstärkung	18
3.3.3	Energieauflösung	19
3.3.4	Langzeit Stabilität	20
3.4	Qualitätstest-Uniformität der Gasverstärkung	23
3.4.1	Messung	24
3.4.2	Partielle Ablösung der Eisen Quelle	24
3.4.3	Wichtung	24
3.4.4	Flächen-Scan	27
3.4.5	Linien-Scan	29
3.5	Datenbank	30
4	Einige physikalische Kenngrößen der GSI Kammern	33
4.1	Leckrate	33
4.2	Gasverstärkung	33
4.3	Uniformität	34
4.3.1	Streben Absorption	36

A Abbildungen

39

Abbildungsverzeichnis

1.1	QGP Phasenübergang	2
1.2	Der ALICE Detektor	5
2.1	Profil ALICE TRD	9
2.2	Struktur des Radiators	9
2.3	Mikrostruktur der Radiator Materialien	10
2.4	Segmente der Kathodenplatte	11
2.5	Funktionsweise des TRD's	12
3.1	Der Teststand	14
3.2	Labview Beispiel	15
3.3	Schema Sauerstoff Messung	17
3.4	Verlauf Sauerstoffgehalt	18
3.5	Einfluß des Sauerstoffgehalts	19
3.6	Pulshöhen als Funktion der Driftzeit für verschiedene Einfallswinkel	20
3.7	Pulshöhen als Funktion der Driftzeit für verschiedene Einfallswinkel bei verschiedenen Gasverstärkungen	21
3.8	Frontpanel des Langzeit Tests	22
3.9	Verhältnis Anodenstrom zu Padstrom	23
3.10	Anodenstrom ohne Strahlungsquelle	25
3.11	Anodenstrom mit Eisen Quelle	26
3.12	Zeitverlauf von Emissionsstrom und Anodenstrom	26
3.13	Druck und Temperatur während der Roentgen Messung	27
3.14	Wichtungsfaktor	28
3.15	Verhältnis Anodenstrom zu Emissionsstrom über Zeit	29
3.16	Fingerabdruck des Detektors 3-D	30
3.17	Fingerabdruck des Detektors	31
3.18	Profil Fingerabdruck des Detektors	31
4.1	Histogramm Leckrate	34
4.2	Histogramm der Gasversärkungen	34
4.3	Uniformität Abweichungen	35
4.4	Abweichungen in chronologischer Reihenfolge	36
4.5	Einkleben der Folie	37

4.6	Streben Absorption	37
A.1	VI: Area-scan	40
A.2	Auszug aus dem Blockdiagramm des VI's area-scan	41
A.3	VI: line-scan	42
A.4	Datenbank	43

Kapitel 1

Einführung

1.1 Das Quark-Gluon Plasma

Sowohl um die Entstehung des Universums zu verstehen, als auch für das Verständnis der Grundstruktur der Materie, ist das Quark-Gluon Plasma ein zentraler Begriff. Dabei handelt es sich um einen Zustand hadronischer Materie bei sehr hohen Energiedichten von der Größenordnung $1 \text{ GeV}/\text{fm}^3$, in dem Quarks und Gluonen als individuelle Teilchen nach den Gesetzen der Quantenchromodynamik wechselwirken [Lex00]. Gewöhnlich sind Quarks und Gluonen unter der Wirkung der starken Wechselwirkung als Hadronen vorzufinden. Der Versuch der Aufspaltung eines Hadrons in seine Konstituenten, das heißt Quarks und Gluonen, endet vergeblich mit der Erzeugung eines neuen Teilchens. Grund dafür ist das größer werdende Potential einer quantenchromodynamischen Ladung, ein Fakt den wir von makroskopischen Erfahrungen mit Elektromagnetismus und Gravitation nicht gewohnt sind. Die Energie, die man hinein pumpt, um das Hadron aufzuspalten, verwandelt sich in Kombination mit dem ursprünglichen Hadron in neue Hadronen. Daß wir diese immense Kraft aus einer gewissen Entfernung zum Hadron nicht spüren, liegt daran, daß das Potential durch verschiedene Farbladungen erzeugt wird, die sich gegenseitig in der Summe abschirmen. Man spricht von einem "Confinement". Man kann auch sagen, die Summe der einzelnen Farbkomponenten ist immer weiß.

Nun haben wir eine neue Situation. Im Quark-Gluon Plasma sind die Quarks zwar nicht isoliert, sie können sich jedoch quasi-frei in diesem Medium bewegen. Genau so wie in der Plasmaphysik ein Elektron ueber mehrere Ionen Distanzen – oder besser Debye Längen – wandern kann, kann hier ein Quark ueber mehrere Hadronen Distanzen wandern. Die Quarks sind in einem Zustand den man "Deconfinement" nennt. Dieser einzigartige Zustand ermöglicht es uns, mehr über die Grundbausteine der Materie zu erfahren. Die physikalischen Erkenntnisse gehen noch weiter. Das Quark-Gluon Plasma ist unterwegs zum Anfang des Universums eine wichtige Station, das sich 10^{-5} Sekunden nach dem Urknall bildete. Durch die Untersuchung des Quark-Gluon Plas-

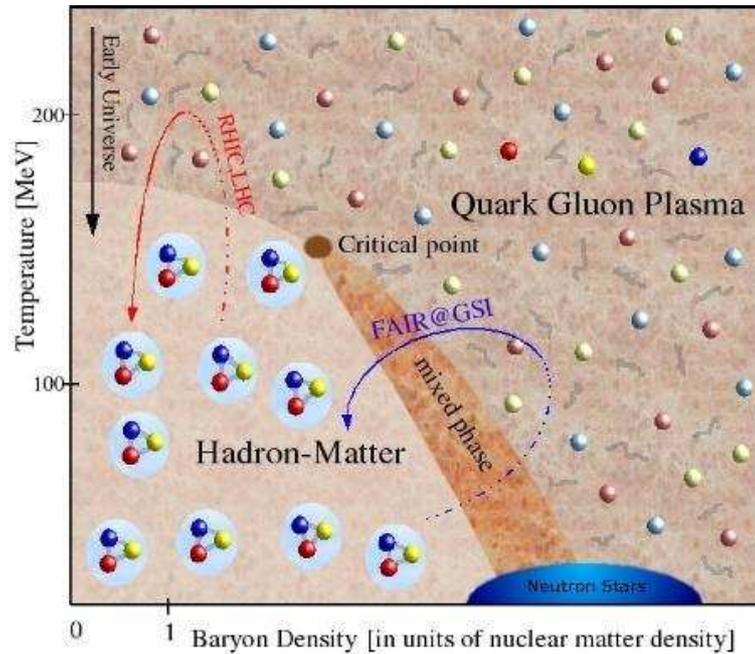


Abbildung 1.1: Phasendiagramm der Kernmaterie in Abhängigkeit vom chemischen baryonischen Potential als Indikator für die Netto Baryondichte und der Temperatur

mas gelingt es uns, die Entstehung des Universums ab diesem Stadium zu rekonstruieren. Der von dem Standardmodell vorhergesehene quantenchromodynamische Phasenübergang vom Quark-Gluon Plasma zu Hadronen oder umgekehrt, findet bei sehr hohen Temperaturen oder Netto Baryondichten statt. In dem Phasendiagramm in Abbildung 1.1 kann man die Bedingungen, unter denen der Phasenübergang stattfindet sehen. Um die Front zum Quark-Gluon Plasma zu durchbrechen muß man entweder hohe Dichten erzeugen – das chemische Potential muss die entsprechende Schwelle der mehrfachen Dichte eines Nukleons erreichen – oder hohe Temperaturen erzeugen; als kritische Energie wurde aus auf der Quantenchromodynamik beruhenden Gitterrechnungen 170 MeV kalkuliert[Col04]. Bei ALICE¹ geht man den Weg der hohen Temperatur. Bei den hochenergetischen Schwerionenkollisionen durchdringen sich die Nukleonen und gehen in diesem Moment in das Quark-Gluon Plasma über. Die Konstituenten der ursprünglichen Nukleonen fliegen allerdings, durch die Beschleunigung erhaltene Energie, weiter in ihrer Richtung und der entstandene Feuerball erlischt wieder. Die Hadronen werden, wenn man sich das Diagramm anschaut, eng an der Temperatur Achse in ein Quark-Gluon Plasma übergehen und nach kurzer Zeit wieder in den Bereich der Hadronenmaterie übergehen (Die Rehadronisierung). Bei dem CBM-Compressed Baryonic Matter Experiment das am künftigen FAIR² Be-

¹A Large Ion Collider Experiment

²Facility for Antiproton and Ion Research

schleuniger bei der GSI verwirklicht wird, wird zum Beispiel, wie man dem Namen bereits entnehmen kann, versucht der Weg der hohen Dichte zu gehen.

1.2 Das ALICE Experiment

Nach Milliarden von Jahren wurde am CERN³ und kurz danach am RHIC⁴ ein Materiezustand hergestellt, den es seit dem in der Erdmaterie nicht mehr gegeben hatte. Mit LHC⁵ wird es zum ersten mal eine solche Materie in einer neuen und höheren Energieregion geben. LHC liefert 5,5 TeV pro Nukleonenpaar bei Pb-Pb Kollisionen was bisher kein Beschleuniger leisten konnte [Col04]. Das ALICE Experiment ist ein Schlüsselexperiment zur Erforschung des Quark-Gluon Plasmas und folglich zur Entdeckung neuer Physik, wie sie in der Einleitung beschrieben wurde. ALICE wurde speziell auf die Indikatoren eines Quark-Gluon Plasmas abgestimmt. Da das Quark-Gluon Plasmas nicht direkt nachweisbar ist, werden Indikatoren verwendet. Je mehr die Indikatoren mit den theoretischen Voraussagen übereinstimmen, desto mehr ist die Existenz des Quark-Gluon Plasmas bekräftigt. Ein Indikator sind zum Beispiel Dileptonen. Dileptonen sind Teilchenpaare bestehend aus einem Lepton und einem Antilepton. Da sie nur der elektromagnetischen Wechselwirkung unterliegen, koppeln sie von den Prozessen in der Kollisionszone ab, die der starken Wechselwirkung unterliegen und stellen daher ein gutes Instrument dar, um unversehrt Informationen, zu liefern. Ein weiteres Beispiel ist das häufigere Auftreten von seltsamen Hadronen. Die Produktion von seltsamen Hadronen ist in einem Quark-Gluon Plasma energetisch günstiger und aufgrund dessen ist eine erhöhte Anzahl beobachtbar. In Abbildung 1.2 ist der ALICE Detektor zu sehen. Der Detektor ist insgesamt 25m lang und hat einen Durchmesser von etwa 16 m. ALICE hat zwei Hauptteile; den etwa zylinderförmigen Zentralteil und den Myonen Arm. Das komplette Detektor System besteht aus auf die Indikatoren und untereinander abgestimmten Subdetektoren. Eine kurze Beschreibung der Komponenten bzw. Subdetektoren des Zentralteils:

ITS Inner Tracking System. Das ITS ist der erste Detektor der den Vertex umgibt. Dieser Detektor dient der Spurrekonstruktion und der Bestimmung von Zerfallspunkten.

TPC Time Projection Chamber. Diese umgibt das ITS und ist der größte Subdetektor. Die TPC erfüllt die Aufgabe der Spurrekonstruktion, der Teilchenidentifizierung und der Impulsmessung.

TRD Transition Radiation Detector. Er umgibt die TPC und dient unter anderem der Spurrekonstruktion zusammen mit ITS und TPC. Er dient außerdem der Elektronenidentifikation. Besteht aus 540 Einzelkammern. Es sei hier angemerkt, daß

³Centre Européenne pour la Recherche Nucléaire

⁴Relativistic Heavy Ion Collider

⁵Large Hadron Collider, am CERN

die Abkürzung TRD auch für den deutschen Namen Übergangsstrahlungsdetektor verwendet wird. Die Einzelkammern sind mit folgender Syntax codiert: LiCjxxx. L steht für Layer-Schicht und C für die geometrische Ebene. Der Index i läuft von 0 bis 5, da es 6 Schichten gibt. Für j gibt es die Optionen 0 und 1. Die letzten drei Ziffern stehen für die laufende Nummer.

TOF Time Of Flight. Umhüllt den TRD und dient der Teilchenidentifikation im Impulsbereich von $0,5\text{GeV}/c < p < 2,5\text{GeV}/c$.

HMPID High Momentum Particle Identification Detector. Befindet sich wie in Abbildung 1.2 gezeigt über dem TRD und dient der Teilchenidentifikation bei höheren Transversalimpulsen.

PHOS Photon Spectrometer. Die Position des Detektors ist in Abbildung 1.2 zu sehen. Es dient dem Nachweis von direkten und aus Zerfällen stammenden Photonen.

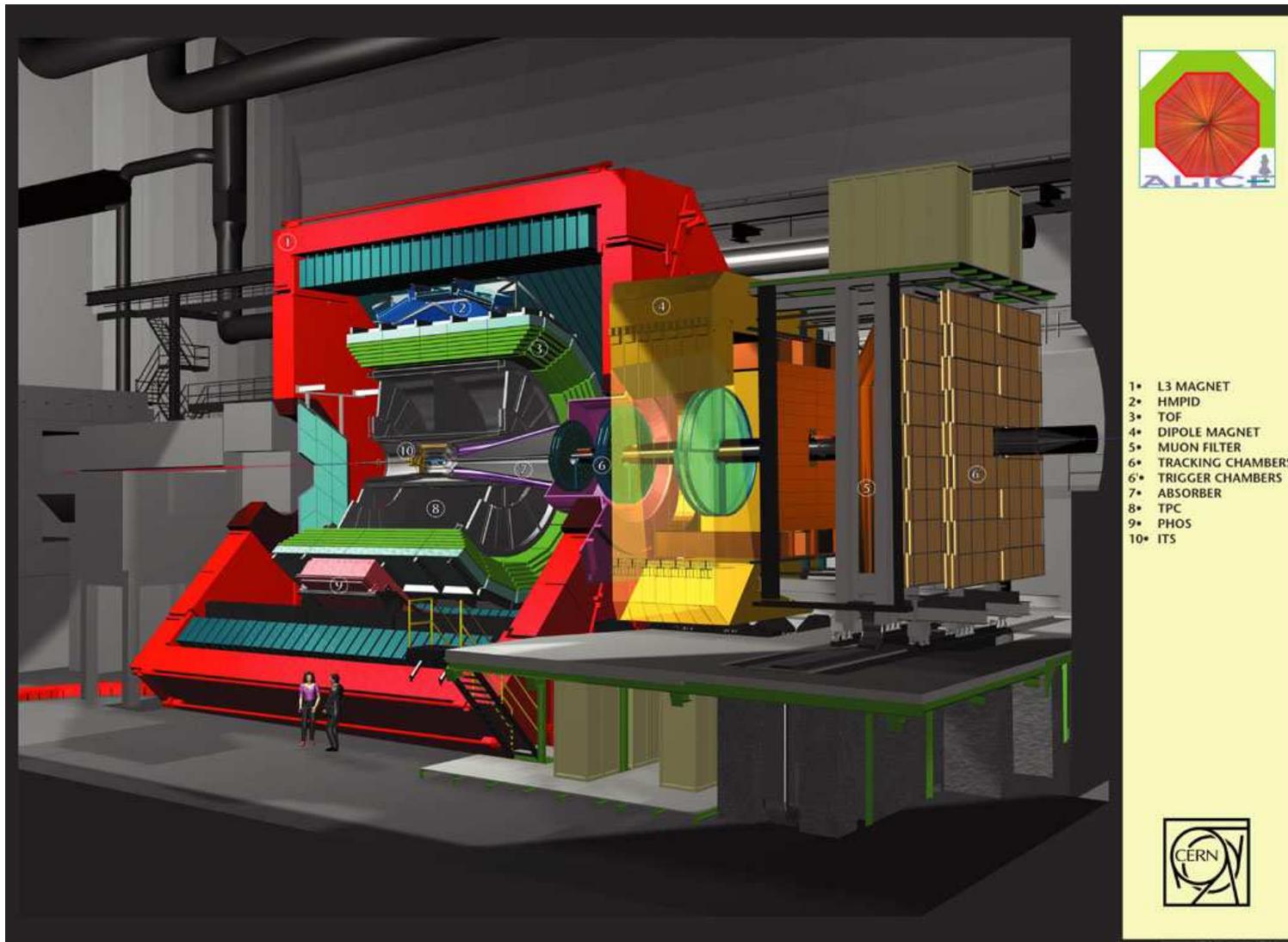


Abbildung 1.2: Der ALICE Detektor mit seinen Subdetektoren. Der mit der 3 gekennzeichnete Zylinderring ist der TRD.

Kapitel 2

Übergangsstrahlungsdetektoren

In der Einleitung wurden bereits einige Signaturen des Quark-Gluon Plasmas erwähnt. Viele solcher Signaturen werden über hochenergetische Elektronen identifiziert. Ab einem Impuls von 1 GeV/c ist die Elektronenidentifikation im TPC allerdings nicht mehr über Energieverlust ausreichend gewährleistet, da zum Beispiel Pionen im selben Impulsbereich ähnliche Energieverluste haben. Das heißt, wir benötigen einen Indikator, der trotz des gleichen Impulses, Teilchen abhängig von ihrer Masse unterscheiden kann: Die Übergangsstrahlung.

2.1 Übergangsstrahlung und das Konzept des TRD

Übergangsstrahlung ist die elektromagnetische Strahlung die beim Durchqueren der Grenzfläche zweier Materialien mit unterschiedlicher Dielektrizität entsteht. Die Ursache für die Übergangsstrahlung sind Plasmaschwingungen die an der Oberfläche beim Durchgang des elektrisch geladenen Teilchens entstehen. Für die Übergangsstrahlung gilt[Dol92]:

$$\frac{d^2W}{d\omega d\theta} = \frac{\alpha h \theta^3}{\pi^2} \left(\frac{1}{\frac{1}{\gamma^2} + \theta^2 + \frac{\omega_1^2}{\omega^2}} - \frac{1}{\frac{1}{\gamma^2} + \theta^2 + \frac{\omega_2^2}{\omega^2}} \right)^2 \quad (2.1)$$

Dabei sind

- W , Abgegebene Energie
- ω , Energie eines abgestrahlten Photons
- θ , Strahlungswinkel
- α , Feinstrukturkonstante
- h , Planck Konstante
- γ , Lorentz Faktor des Teilchens
- $\omega_{1,2}$, Plasmafrequenzen der durchquerten Medien

Der größte Anteil der abgestrahlten Energie wird mit einem Winkel $\sin\theta \cong 1/\gamma$ emittiert. Für hochrelativistische Partikel mit entsprechendem gamma Faktor bedeutet das eine starke vorwärts Ausrichtung. Die Integration über die Gleichung 2.1 liefert:

$$W = \frac{\alpha\hbar}{\pi} \frac{(\omega_1 - \omega_2)^2}{(\omega_1 + \omega_2)} \gamma \quad (2.2)$$

Man erkennt in Gleichung 2.2, daß die abgestrahlte Energie für einen bestimmten Übergang dem Lorentz Faktor proportional ist. Dies ist die fundamentale Eigenschaft, die uns erlaubt massive und leichte Teilchen bei gleichem Impuls zu unterscheiden; denn geladene Teilchen haben einen Energieverlust der dem Lorentz Faktor $\gamma = E/mc^2$ proportional ist. Allerdings gibt es noch ein Handicap. Die Anzahl der bei einem Übergang emittierten Photonen liegt in der Größenordnung $\alpha = 1/137$ [Dol92]. Diese schwache Strahlung kann durch den Einsatz von mehreren Übergängen verstärkt werden. Dabei summiert sich die Strahlung durch konstruktive Interferenz.

Das Konzept des TRD besteht aus grob gesehen 3 Komponenten: Einem Radiator zur Erzeugung von Übergangsstrahlung bei Teilchen mit hohem Lorentz Faktor. Als zweites eine Driftkammer die ermöglicht den Beitrag der Übergangsstrahlung zur Ionisation der Gasatome zu registrieren. Als letzte Komponente benötigt man noch eine Elektrode mit der die induzierten Signale aus der Driftkammer erfasst werden können. In dem nächsten Kapitel kann man den ALICE TRD als praktisches Beispiel dieses Konzeptes sehen.

2.2 Aufbau und Funktionsweise der ALICE TRD Ausleseammern

Im Licht des behandelten Konzeptes für Übergangsstrahlungsdetektoren wird nun auf die Details speziell der ALICE TRD Ausleseammern eingegangen. In Abbildung 2.1 wird eine Skizze des Querschnitts einer ALICE TRD Ausleseammern gezeigt.

Die Hauptsegmente sind der Radiator, die Driftkammer und die Kathodenplatte die mit entsprechender Elektronik ausgestattet ist. Im folgenden werden die Spezifikationen der einzelnen Segmente behandelt.

2.2.1 Der Radiator

Es wurde bereits bei der Konzeption erläutert, daß man für eine intensive Übergangsstrahlung mehrere Übergänge benötigt. Dazu werden zum Beispiel Stapel von Folien verwendet die durch konstruktive Interferenzen die Übergangsstrahlung verstärken. Sie haben den Vorteil, daß man die Foliendicke und die Abstände zwischen den Folien so einstellen kann, daß man maximale Ausbeute erzielen kann[XA75]. Für den

2.2. AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE DER ALICE TRD AUSLESEKAMMERN⁹

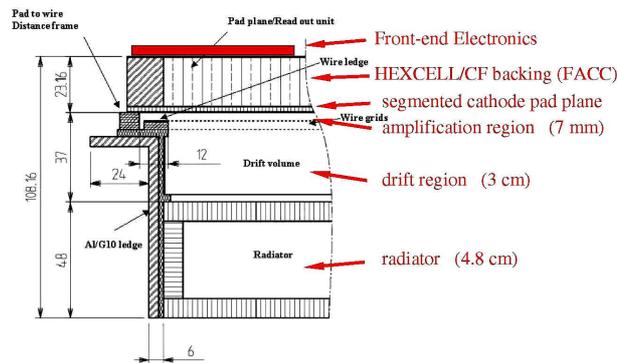


Abbildung 2.1: Zeichnung einer ALICE TRD Kammer im Querschnitt

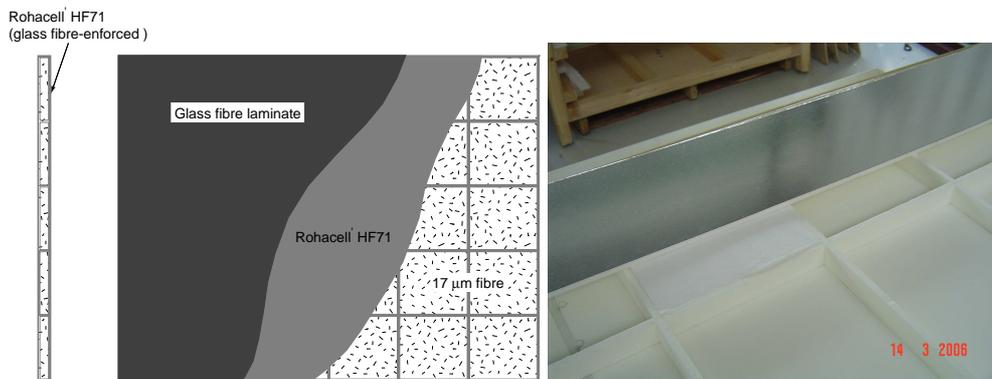


Abbildung 2.2: Prinzipielles Design des TRD Sandwich Radiators und Originalfoto des Radiators und seiner inneren Struktur

ALICE TRD würde allerdings die Folienmethode einige Nachteile mit sich bringen. Für die Detektorkonstruktion mit Folien werden massivere Baukomponenten wie Metallrahmen verwendet. Diese Komponenten würden den geometrischen Akzeptanzbereich einschränken. Daher entschied man sich für einen irregulären Radiator der durch seine mikroskopische Struktur ebenfalls mehrfache Übergänge gewährleistet [GG74]. In Abbildung 2.2 ist die Zusammensetzung eines Radiators einer TRD Ausleseammer zu sehen.

Das Hauptgerüst des Radiators besteht aus einem Schaumstoff namens *Rohacell*TM. Sowohl die beiden Deckel, in Richtung Vertex des ALICE Detektors und abschließende Schicht vor der Driftkammer, als auch das Gitter in dem die Fasermatten gehalten werden bestehen aus *Rohacell*TM mit einer Dicke von 8mm. Die Fasermatten bestehen aus Polypropylen. In der Abbildung 2.3 kann man sehen, daß beide Materialien durch ihre poröse oder fadenartige Struktur den Mehrfachübergang für die Über-

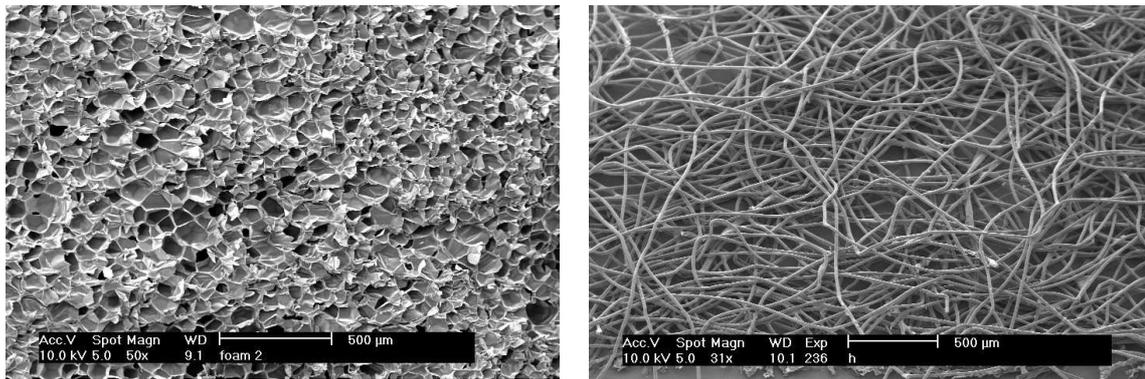


Abbildung 2.3: Aufnahmen mit dem Elektronenmikroskop. Es sind die poröse Struktur des Schaumstoffs und die Fadenstruktur der Fasermatten zu sehen.

gangsstrahlung realisieren. Die Fasermatten eignen sich sehr gut für diese Aufgabe während *RohacellTM* ein Kompromiß zwischen Strahlungseigenschaften und mechanischer Stabilität ist. Beide Materialien haben geeignete Strahlungslängen ($\cong 40g/cm^2$) um die erzeugte Übergangsstrahlung nicht bereits im Radiator zu absorbieren. An den Außenseiten des Radiators, befindet sich eine $25 \mu m$ Mylar Folie mit Aluminiumbeschichtung. Sie kann auch als Komponente der Driftkammer gesehen werden, da sie als Elektrode für die Hochspannung dient. Darüber hinaus ist die Mylar Folie auch das abdichtende Element des Driftgases. Der Durchmesser der Radiator Schicht beträgt 48 mm.

2.2.2 Driftkammer und Kathodenplatte

Die Driftkammer besteht schichtweise gesehen und der Reihe nach aus der Driftelektrode, einer Kathodendrahtebene, einer Anodendrahtebene und der Kathodenplatte. Siehe hierzu auch Abbildung 2.1 mit entsprechenden Maßen und 2.5. Auf die Driftelektrode und Anodendrähte wird Hochspannung angelegt. Kathodendrahtebene und Kathodenplatte haben Erdpotenzial. Der Feldlinienverlauf kann Abbildung 2.5 entnommen werden. Die Driftkammer ist mit einem $Xe : CO_2(85 : 15)$ Gasgemisch gefüllt. Xenon ist ein schweres Edelgas und hat eine geeignete Absorptionslänge von 1 cm für ein typische Übergangsstrahlung von 10 keV[Do192]. Dies passt sehr gut zu den Dimensionen der Driftkammer, da die Übergangsstrahlung schnell absorbiert wird und einen schmalen Anstieg in der Pulshöhe verursacht. Mehr hierzu in dem Abschnitt der Funktionsweise. Das CO_2 erfüllt die Aufgabe eines sogenannten Quencher's. Es dient als Löschgas für Ionisationen die durch die Photonen aus der Anregung von Xenon Atomen entstanden sind.

Die Kathodenplatte ist wie in Abbildung 2.4 zu sehen in kleine Segmente unterteilt, deren Fläche maßgeblich für die Ortsauflösung ist. Die Flächen variieren zwischen



Abbildung 2.4: Segmente bzw. Pads der Kathodenplatte

4.9cm^2 und 8.13cm^2 . Die Segmente bzw. Pads sind die Schnittstelle zur Elektronik der Ausleseammern.

2.2.3 Funktionsweise der ALICE TRD Kammern

In den vorangegangenen Kapitel wurde bereits an diversen Stellen erwähnt, daß die Motivation des TRD's, u.a. die Identifizierung von Elektronen, bzw. die Unterscheidung von anderen Teilchen ist. In Abbildung 2.5 ist ein Schema der Signalerzeugung und ein Diagramm der zeitlichen Auflösung induzierter Signale am Beispiel eines Elektrons und Pions zu sehen.

Beim Durchqueren des Radiators erzeugt das Elektron im Vergleich zu dem Pion, das den gleichen Impuls von $p = 2 \text{ GeV}/c$ hat, Übergangstrahlung aufgrund seines hohen Lorentz Faktors. Das heißt, zu der Ionisationsspur der beiden Teilchen kommt bei dem Elektron noch eine signifikante Ionisation durch die Übergangstrahlung hinzu. Diese Ionisation findet aufgrund der bereits erwähnten Eigenschaften des Xenon Gases unmittelbar nach dem Radiator statt. Anderfalls würde die zusätzliche Ionisation durch Übergangstrahlung verzerrt werden. Die Elektronen driften entlang den Feldlinien die man der Abbildung 2.5 entnehmen kann in Richtung Anodendrähte. Durch die Bewegung der Elektronen auf die Anodendrähte driften die Ionen von den Anodendrähten weg. Diese Bewegung induziert das Signal auf den Kathodensegmenten. Die Signale aus unserem Beispiel in Abbildung 2.5 zeigen zwei Unterschiede. Erstens ist die Pulshöhe des Pions niedriger, was davon herrührt, daß es bei diesem Impuls einen kleineren Energieverlust hat. Zweitens sieht man die markante Pulshöhe am Ende des

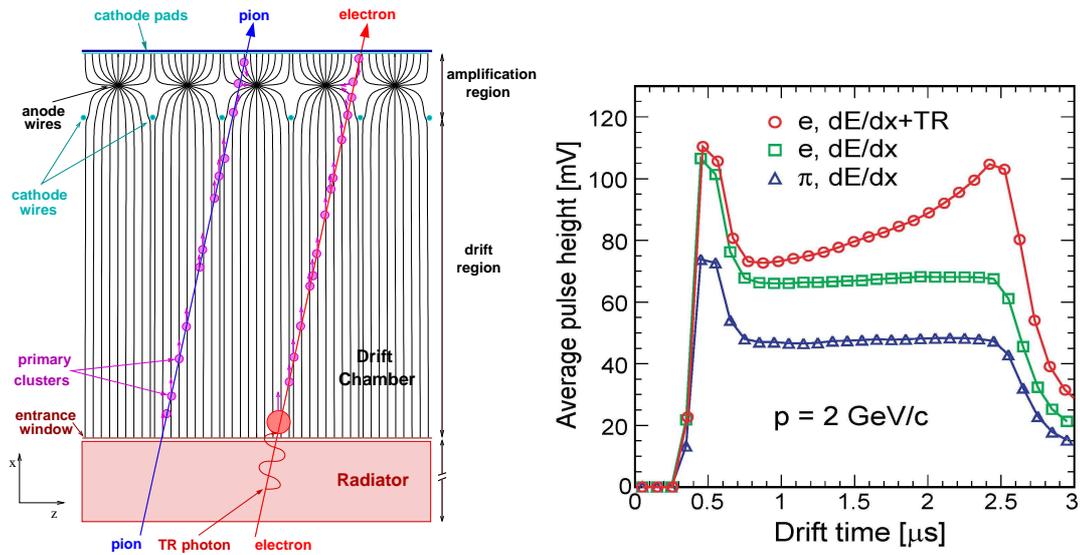


Abbildung 2.5: Schema der Funktionsweise und entsprechende Pulshöhen als Funktion der Zeit

Signale bei dem Elektron, aufgrund der Ionisation durch Absorption von Übergangstrahlung. Beide Kriterien werden zur Unterscheidung verwendet aber letzteres ist die ausschlaggebende Eigenschaft des TRD's. Beim ALICE TRD werden 6 Einzelkammern als Stapel in einem Zylinderring wie in Abbildung 1.2 angeordnet. Die in diesem Abschnitt besprochene Unterscheidung wird daher als 6-fache Prozedur verlaufen.

Kapitel 3

Testverfahren für Übergangsstrahlungsdetektoren

Bevor die TRD Ausleseammern in den ALICE Detektor implementiert werden, werden Sie auf bestimmte Kenngrößen untersucht. Damit wird erstens die Funktionstüchtigkeit gewährleistet und zweitens werden darüber hinaus charakteristische Eigenschaften im Vorfeld untersucht. Diese Informationen sind später auch Anhaltspunkt für die erste Kalibrierung bei ALICE. Als Vorlage und Leitfaden für das Testverfahren diente das bereits an der Universität Heidelberg ausgearbeitete Testing Manual “TRD Chamber Testing Vers 5“. Auf die Motivation der einzelnen Tests, wird in den jeweiligen Abschnitten eingegangen.

3.1 Teststand

Alle in dieser Arbeit aufgezählten Test werden mit dem Teststand durchgeführt, der in Abbildung 3.1 gezeigt ist. Der Teststand ermöglicht die Fixierung der Detektor Kammer und den Anschluß aller notwendigen Geräte für die Messungen. Darüber hinaus ist der spezial angefertigte Teststand mit einem Schrittmotor betriebenen Fahrwerk ausgestattet, das die Röntgenquelle über die ganze Detektorfläche fahren kann. Im Bild sieht man eine mittig plazierte radioaktive Quelle die zur Erzeugung von Röntgenstrahlung verwendet, falls die Röntgenquelle .

Inventar der für die Tests notwendigen Hardware:

- Kontroll PC: Auf dem PC ist die Software Labview 7.1 [Lab] installiert. Alle Daten werden mit dieser Software gelesen. Auch die Steuerprozesse werden zum großen Teil mit dieser Software kontrolliert. Auf die Software wird später noch eingegangen.

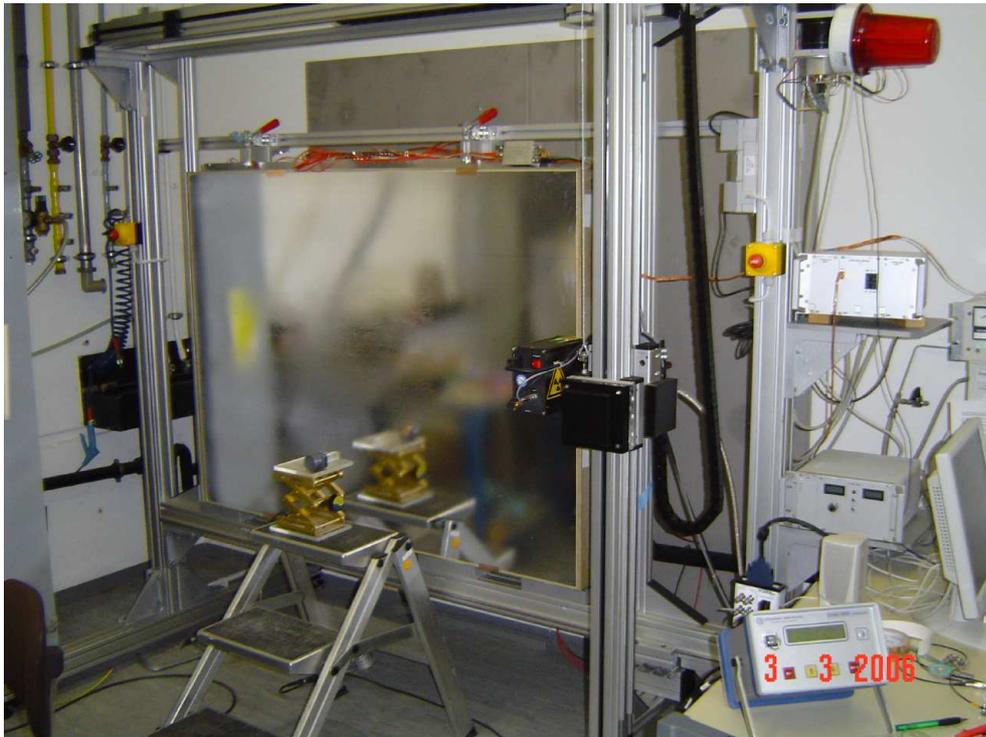


Abbildung 3.1: Der Teststand

- Röntgenquelle: Die Röntgenquelle ist eine Anfertigung mit dem üblichen Konzept einer Röntgenröhre bei der eine Hochspannung bis zu 10 kV angelegt werden kann und entsprechend ein Bremsstrahlungsspektrum bis zu 10 keV liefern kann. Es gibt keine Möglichkeit die Elektronen Emission zu beeinflussen; der Elektronenstrom klingt sich ein.
- Steuergerät der Röntgenquelle für Hochspannung und Auslesung des Emissionsstroms. Das Gerät ist optional über Labview oder manuell steuerbar.
- Steuergerät für die Schrittmotoren. Sowohl manuell als auch über Labview steuerbar.
- CAMAC und NIM Elektronik Module für Pulshöhenanalyse und zur Hochspannungskontrolle des Detektors.
- Gerät für Sauerstoff und Temperatur Messung mit entsprechendem Sensorkopf. Orbisphere Model 3600 Analyzer[Orb]. Daten werden mit Labview über eine serielle Schnittstelle ausgelesen.
- Radioaktives Präparat zur Erzeugung von Röntgenstrahlung. ^{55}Fe 3,7 GBq am 30.11.05. Das Präparat erzeugt Röntgenstrahlung von 5,9 keV.

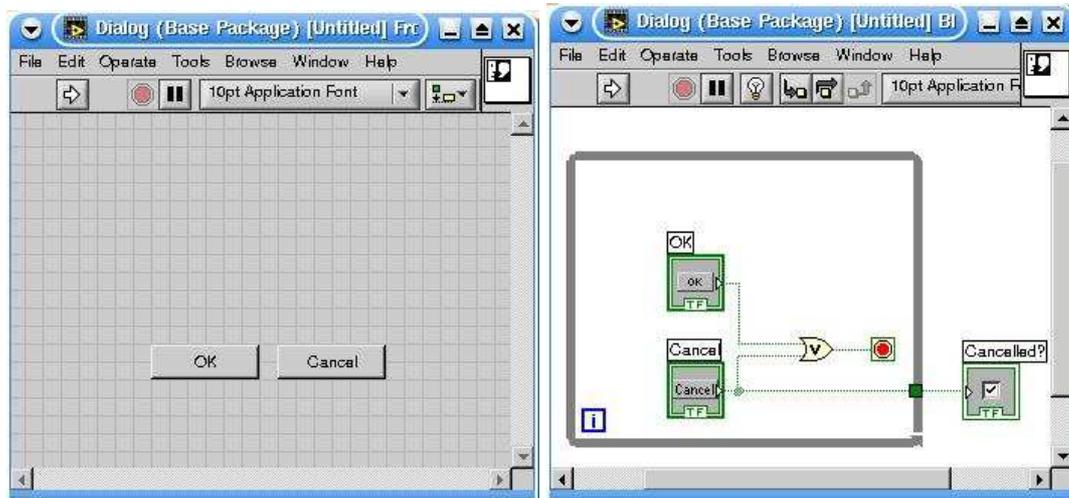


Abbildung 3.2: Beispiel eines primitiven Labview Programms in dem man einfach eine endlose Schleife durch Knopfdruck stoppen kann. Links: Das Frontpanel. Rechts: Das Blockdiagramm.

- Gas-Massendurchflußregler: Gerät zur Einstellung von Proportionen verschiedener Gas Komponenten und Fluß Menge. Gerät wird manuell gesteuert.

Der Raum ist klimatisiert und wird auf 21 Grad Celsius gehalten.

3.2 Steuerungsssoftware Labview

Labview ist eine Entwicklungsumgebung zur graphischen Programmierung, von der Firma National Instruments. Die Entwicklungsumgebung hat zwei Ebenen. Die Programmierung findet wesentlich im sogenannten Blockdiagramm statt. Die Benutzer Schnittstelle ist das Frontpanel. Ein primitives Programm zur Veranschaulichung ist in Abbildung 3.2 zu sehen.

Die Philosophie der Programmierung mit Labview ist, daß man das Frontpanel als Schnittstelle mit Menschen begreift -Fernbedienung eines Fernsehers- und das Blockdiagramm als Prozeßebene -Verkabelung, Prozessoren etc. im Fernseher- sieht. Labview Programme werden in diesem Sinn "Virtual Instrument" genannt, kurz VI.

Die Software Labview greift über verschiedene Schnittstellen wie zum Beispiel die serielle Schnittstelle auf die Geräte zu, steuert sie und liest Daten aus.

3.3 Überblick Qualitätstests

In diesem Abschnitt wird ein Überblick über die zur Qualifizierung dienenden Testkriterien gegeben.

3.3.1 Leckrate

Aus zwei Gründen ist ein oberes Limit für die Leckrate notwendig. Erstens kann eindringender Sauerstoff, aufgrund seiner Elektronegativität, eine Signalschwächung hervorrufen. Die Signalschwächung darf für eine effiziente Elektronenidentifikation maximal 10% betragen. Das zweite Kriterium ist der Kostenfaktor. Das ausdringende teure Xenon Gas darf eine kalkulierte Kostengrenze nicht überschreiten. Die in diesem Zusammenhang aus den zwei Kriterien definierte Schwelle liegt bei 1 mbar*lt/h.

Die Auslesekammern werden im Test mit einem Gas Gemisch $Ar : CO_2$ im Verhältnis 70 zu 30 durchspült. In ALICE wird es ein $Xe : CO_2$ Gemisch im Verhältnis 85 zu 15 sein. Da Xenon ein teures Gas ist, wird für Testzwecke Argon Gas verwendet. Die Proportion 70 zu 30 gewährleistet eine ähnliche elektrostatische Konfiguration wie beim Xenon Gas. Wie in Schema 3.3 gezeigt, wird der Sauerstoffgehalt an einer Schleuse in 5 minütigen Intervallen gemessen. Nach Beginn der Begasung werden die atmosphärischen Gase mehr und mehr herausgespült. Unsere Messreferenz ist der Sauerstoff. Nach einer Einklingphase -Zeitskala etwa ein halber Tag- pendelt sich der ppm Wert des Sauerstoffs ein. Der Sauerstoffgehalt bei einer Beispiel Messung ist in Abbildung 3.4 zu sehen. In dem Diagramm sind die letzten 9 Stunden einer Messung zu sehen. Die Begasung wird mit 60 lt/h gestartet und später auf 20 lt/h umgestellt. Im Diagramm ist zu erkennen wie der Sauerstoffgehalt sich bei 60 lt/h bei einigen ppm einpendelt und nach dem Umstellen auf 20 lt/h sich bei etwa 10 ppm stabilisiert. Die Berechnung der Leckrate erfolgt gemäß der Gleichung 3.1:

$$L = O2_{ein} \cdot F \cdot P \cdot O2_{aus} \quad (3.1)$$

Dabei sind

L ,	Leckrate ($mbar \cdot lt/h$)
$O2_{ein}$,	Sauerstoffgehalt der eindringenden Luft (ppm)
$O2_{aus}$,	Am Gasauslaß gemessener Sauerstoffgehalt (ppm)
F ,	Eingestellter Fluß (lt/h)
P ,	Druck ($mbar$)

Für diese Gleichung wurden zwei Annahmen gemacht. Erstens, der Gasfluß ist bei Gaseinlaß und Gasauslaß gleich. Zweitens, es strömt über die Lecks genau so viel Driftgas aus, wie atmosphärische Luft ein. Bei einem Druck von 1000 mbar und einem eingestelltem Fluß von 20 lt/h und der Vorgabe einer Leckrate von 1 mbar lt/h, erhält man für den Sauerstoffgehalt am Gasauslaß einen Wert von 10 ppm. Das heißt, daß die

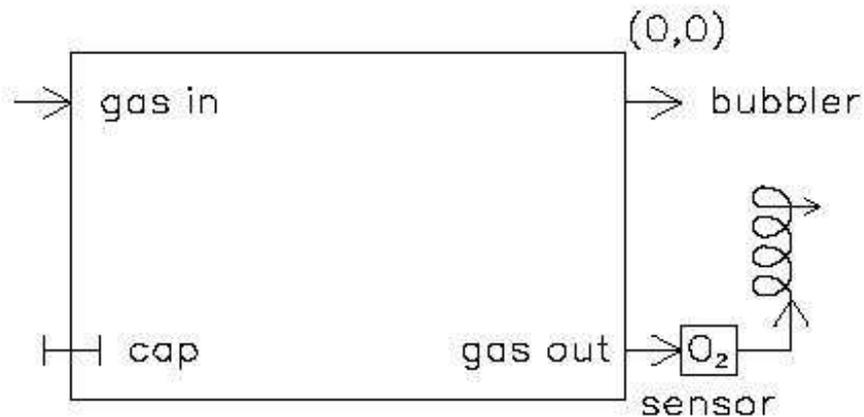


Abbildung 3.3: Schematische Sauerstoff Messung einer TRD Auslesekommer

Kammer aus Abbildung 3.4 zum Beispiel die Anforderungen bezüglich der Leckrate erfüllt.

Es sei noch angemerkt, daß das Kriterium bezüglich der Signalschwächung bei der erwähnten Leckrate marginalisiert. Der Einfluß des Sauerstoffgehalts wird in den Diagrammen in Abbildung 3.5 deutlich.

Bei einer Leckrate von 1 mbar lt/h und 20 lt/h Fluß hat man einen Sauerstoffgehalt von etwa 10 ppm. Die 10% Grenze der Signalschwächung wird bereits bei 100 ppm Sauerstoffgehalt erreicht. Durch die indirekte Vorgabe von 10 ppm, bezüglich des Kostenfaktors, ist die Vorgabe für die Signalschwächung bereits sehr gut gewährleistet. Nichtsdestoweniger sollte nicht verkannt werden, daß die Pionen Identifikation mit steigendem Sauerstoffgehalt nachläßt. Als Resultat sollte so wenig Sauerstoff wie möglich in die Detektor Kammer eindringen. Der Sauerstoff wird mit den im Test Inventar erwähnten Geräten gemessen und mit Labview ausgewertet.

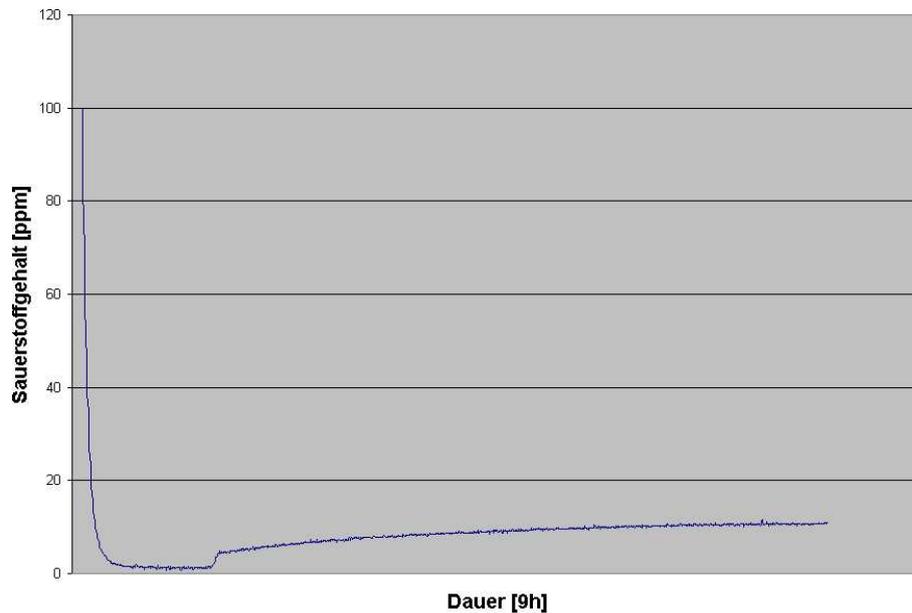


Abbildung 3.4: Zeitlicher Verlauf des Sauerstoffgehalts während der Begasung

3.3.2 Absolute Gasverstärkung

Um ein gutes Signal-Rausch Verhältnis zu bekommen möchte man möglichst hohe Werte für die Gasverstärkung erzielen. Wie wir sehen werden, gibt es allerdings begrenzendende Effekte. Wie bereits in Abschnitt 2.2.3 behandelt, erzeugen eintretende Partikel eine Spur von Ionisationen. Die ionisierten Elektronen driften entlang der Spur und fallen auf die Anodendrähte. Dabei driften die Ionen mit entgegengesetzter Ladung vom Anodendraht weg. Dieser Effekt erzeugt eine Raumladung die das elektrische Feld schwächt und unmittelbar folgende Elektronen bei ihrer Signalerzeugung hemmt. Abhängig vom Eintrittswinkel zum Normal der Anodendrähte konzentriert sich die Lawine auf ein Drahtsegment. Bei rechtwinkligem Einfall fällt die Lawine auf einen "Punkt". Der Einfluß des Einfallwinkels ist in Abbildung 3.6 dargestellt. Man sieht wie mit abnehmendem Winkel zur Normalen der Anodendrähte, eine Signalschwächung eintritt. Diese Schwächung gelangt bei zu hoher Gasverstärkung in inakzeptable Bereiche. Siehe hierzu Abbildung 3.7. Die Umgebung um 10000 scheint ein guter Kompromiß zwischen Statistik und Signalqualität zu sein.

Die Messung wird realisiert, indem man die im Test Inventar erwähnte Eisenquelle als Strahler verwendet und bei verschiedenen Anodenspannungen die Gasverstärkung misst. Die Anodenspannung wird beginnend mit 1600 V in mehreren 50 V Schritten reduziert und man erhält die Gasverstärkung als Funktion der Anodenspannung. Der Standard ist die Gasverstärkung bei einer Anodenspannung von 1600 V. Die Driftelektrode wird auf eine Spannung von -2000 V gesetzt (Auch diese Spannungswerte sind auf das $Ar : CO_2$ Gemisch adaptiert um eine ähnliche elektrostatische Konfiguration

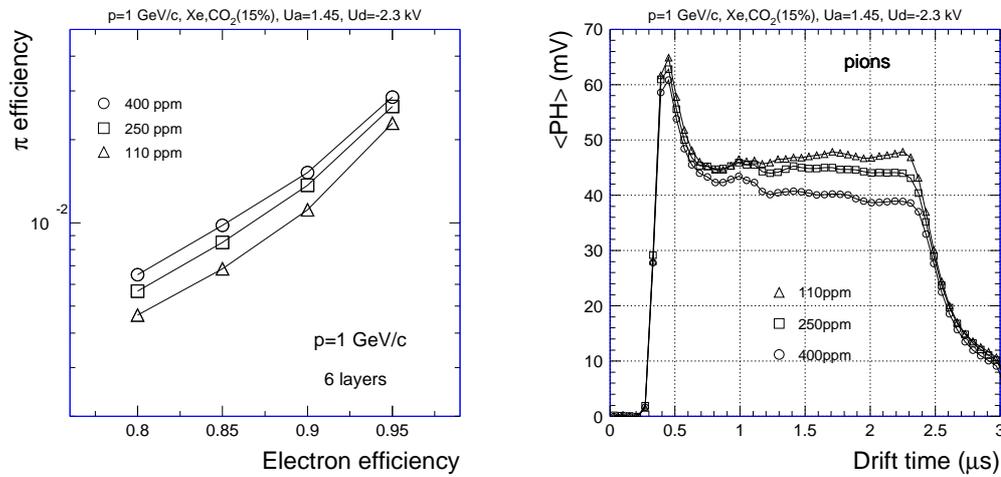


Abbildung 3.5: Einfluß des Sauerstoffgehalts. Links: Pionen Effizienz als Funktion der Elektronen Effizienz im Vergleich verschiedener Sauerstoffgehälter. Rechts: Mittlere Pulshöhenverteilung als Funktion der Driftzeit[Tec01].

wie beim $Xe : CO_2$ Gemisch zu erhalten). Es wird der Strom und die Zählrate gemessen und aus dem Zusammenhang des Stroms mit der Anzahl der Pulse erhält man die Gasverstärkung. Dabei wird davon ausgegangen, daß jedes einfallende Röntgenquant der 5,9 keV Linie der Eisen-Quelle, 210 Primärelektronen ionisiert. Berechnet wird dieser Wert über das effektive Ionisationspotenzial von den Argon und Kohlendioxid Gasen. Dies beträgt für Argon 26 eV und für Kohlendioxid 33 eV [Sau77]. Mit einer einfachen Rechnung unter Berücksichtigung der Gasproportionen erhält man: $5900 / [(0,7 * 26) + (0,3 * 33)] \cong 210$. Die Gasverstärkung wird dann mit Gleichung 3.2 berechnet.

$$M = \frac{I_a}{\text{Zählrate} \cdot 210 \cdot q_e} \quad (3.2)$$

Dabei sind

- M , Gasverstärkung
- I_a , Anodenstrom
- q_e , Elektrische Ladung des Elektrons

Die Signale werden mit der im Test Inventar erwähnten Elektronik bearbeitet und dann mit Labview ausgewertet.

3.3.3 Energieauflösung

Um zu sehen ob man eine vernünftige Energieauflösung hat wird das Energie Spektrum der ^{55}Fe Quelle gemessen. Außer die von dem Zerfall des Eisens herrührende

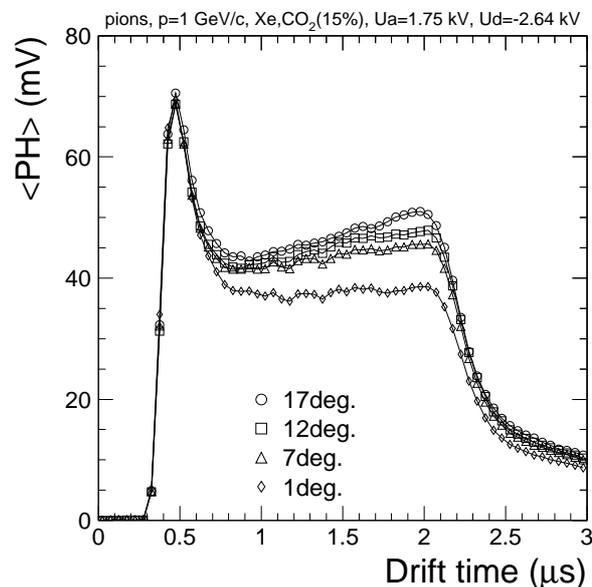


Abbildung 3.6: Mittlere Pulshöhen als Funktion der Driftzeit für verschiedene Einfallswinkel im Bezug zum Normal der Anodendrähte. Gasverstärkung=6000 [Tec01].

5,9 keV Linie kann man noch den Escape-Peak bei 2,9 keV von dem Argon Gas beobachten. Röntgenquanten ausreichender Energie können Elektronen aus der K-Schale des Argon Gases herausschlagen. Elektronen aus den höheren Schalen füllen dann wieder die K-Schale auf. Dabei wird Röntgenstrahlung emittiert, die dem Detektor "entwischt". Daher auch der Begriff Escape-Peak. Die entwichene Energie verursacht einen zu niedrigeren Energien verschobenen Escape-Peak. Beim Argon Gas landet man bei den erwähnten 2,9 keV.

Die Werte unserer Messungen für die Energieauflösung liegen im Bereich von 20% bis 30% der Halbwertsbreite und werden in diesem Bereich als gut befundet.

Die Quelle wird wie in Abbildung 3.1 mittig an die Radiatorfläche gelegt. Die Signale werden mit der im Test Inventar erwähnten Elektronik bearbeitet und dann mit Labview ausgewertet. Das entsprechende Frontpanel des Labview Programms wird im nächsten Abschnitt behandelt.

3.3.4 Langzeit Stabilität

Der Langzeit Test ergibt sich aus der periodischen Wiederholung der Energieauflösung Messung aus dem vorherigen Abschnitt. Dieser Test dauert üblicherweise 12 Stunden oder länger. Ziel dieser Messung ist es zu beobachten, ob das Energie Spektrum über

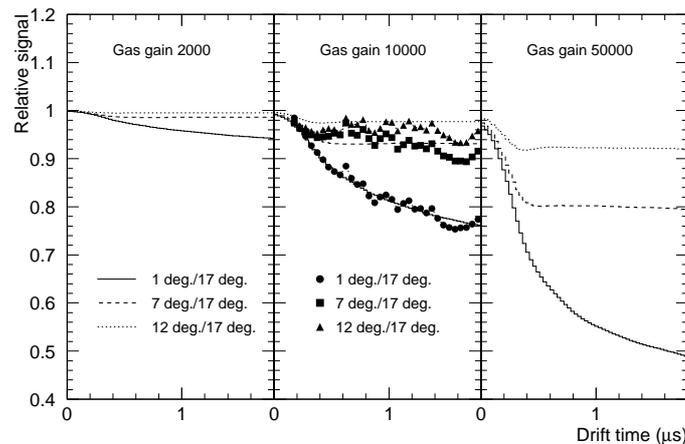


Abbildung 3.7: Mittlere Pulshöhen als Funktion der Driftzeit für verschiedene Einfallswinkel im Bezug zum Normal der Anodendrähte und für verschiedene Gasverstärkungen [Tec01].

längere Zeit konstant bleibt. Damit wird überprüft, daß die Auslesekommer über längere Zeit unbedenklich betrieben werden kann und nicht driftet. In Abbildung 3.8 ist das Frontpanel des Labview Programms zur Bestimmung von Langzeit Eigenschaften zu sehen. Auf dem Frontpanel links sind Energiespektren einer Einzelmessung (oben) und das kumulative Energiespektrum (unten) zu sehen. Die Halbwertsbreite der Einzelmessung ist Gegenstand der Energieauflösung aus dem vorherigen Kapitel, während die Halbwertsbreite des kumulativen Spektrums eine Angabe darstellt, ob die Energieauflösung auch über längere Zeit gehalten werden kann. Auf der rechten Seite des Frontpanels sieht man in den vier oberen Diagrammen, daß der Mittelwert der Energie bezüglich der 5,9 keV Energielinie der Quelle, der Anodenstrom, die Energieauflösung und die Zählrate über längere Stunden konstant geblieben sind. Der Test wurde während der Begasung gestartet. Die Einklingkurven in diesen Diagrammen rühren von dem Ausspülungsprozeß des Sauerstoffs her. Um Einflüsse durch Druck und Temperatur zu berücksichtigen, werden auch desbezügliche Daten aufgezeichnet wie es in den beiden Diagrammen rechts unten zu sehen ist. In den Energiespektren sind außer dem ausgeprägten Peak noch ein flacher Peak zu sehen. Dies ist der Escape-Peak des Argon Gases bei 2,9 keV.

22KAPITEL 3. TESTVERFAHREN FÜR ÜBERGANGSSTRAHLUNGSDETEKTOREN

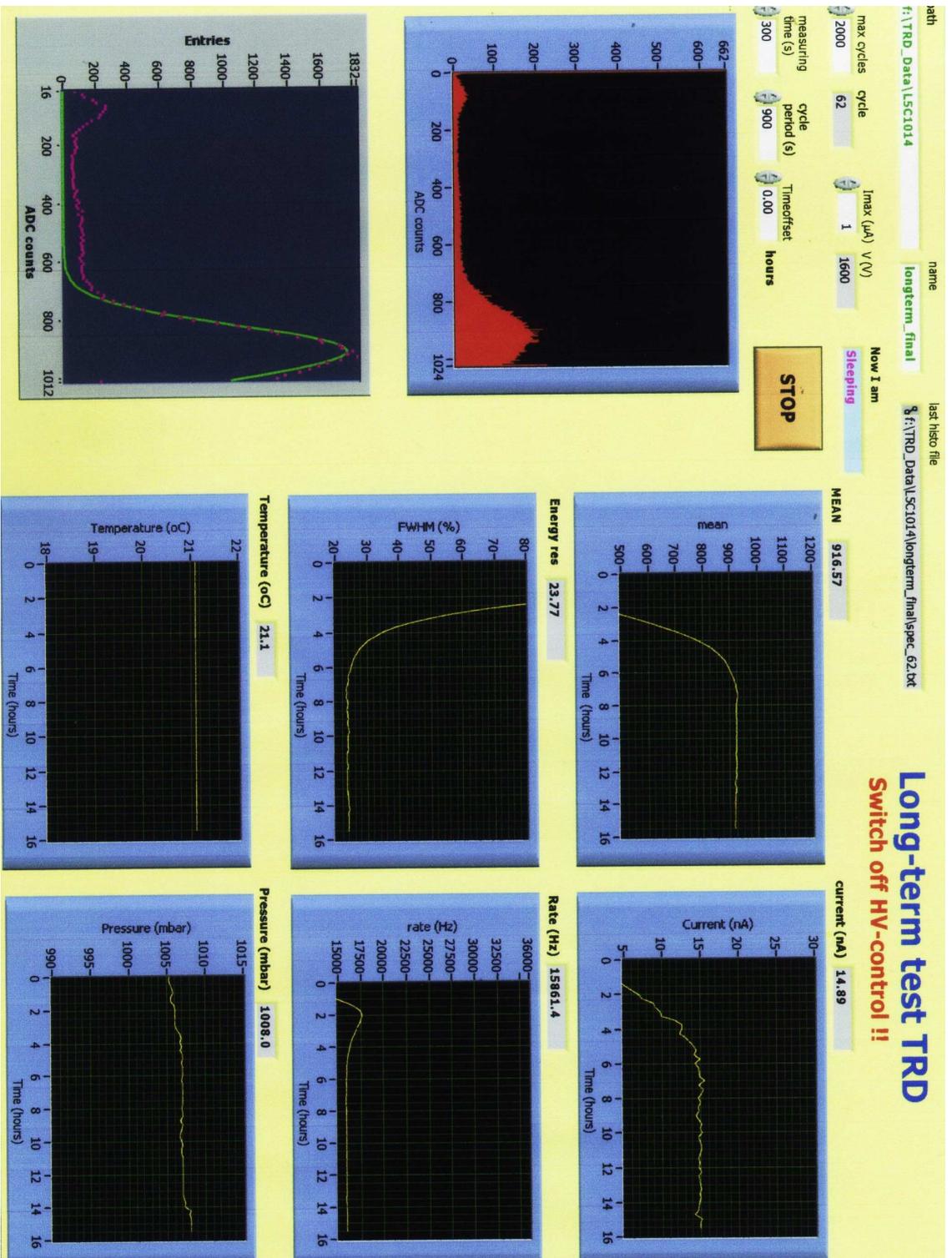


Abbildung 3.8: Frontpanel des Langzeit Tests

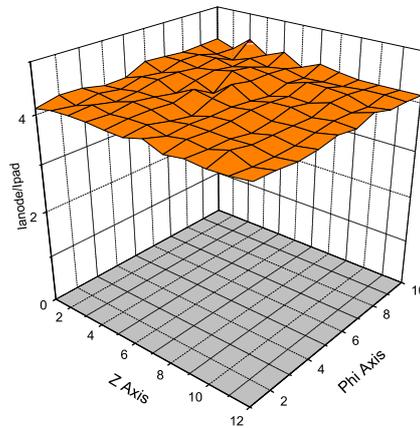


Abbildung 3.9: Das Verhältnis von Anodenstrom zu Padstrom bei einer TRD Auslesekammer

3.4 Qualitätstest-Uniformität der Gasverstärkung

Jede Auslesekammer hat abhängig von der angelegten Hochspannung eine charakteristische Gasverstärkung. Man kann die Abbildung 3.16, die noch erläutert wird, als ‘Fingerabdruck’ des Detektors interpretieren. Die Auslesekammer hat an verschiedenen Positionen unterschiedliche Gasverstärkungen. Wünschenswert wäre eine homogene Verteilung, sprich Uniformität über die ganze Detektorfläche. Die Abweichungen der Gasverstärkung über die Detektorfläche wird bis zu $\pm 15\%$ toleriert. Alles was darüber liegt, schränkt den dynamischen Bereich der ADC’s (Analog Digital Converter) zu sehr ein. Werden die Abweichungen groß, müsste ein größeres Meßintervall abgedeckt werden, was zu einer Verminderung der Auflösung führen würde.

Es sei noch angemerkt, daß bei den Uniformitätstests nicht die Gasverstärkung selbst, sondern die Anodenströme gemessen werden. Da es sich um einen Vergleich über die Fläche handelt, kommt es auf die Verhältnisse der Gasverstärkung untereinander an, was die Messung der Anodenströme rechtfertigt, da sie proportional zueinander sind. Die Proportion ist bei konstanter Zählrate durch Gleichung 3.2 gegeben. Die Messung des Stroms an den Anodendrähten bedarf einer weiteren Rechtfertigung weil die Signale bei ALICE von den Pads und nicht von den Anodendrähten ausgelesen werden. Es ist eine sehr gute Proportionalität zwischen Anodenstrom und Padstrom gegeben wie sie in Abbildung 3.9 zu sehen ist. In dieser Messung wurden Anodenstrom und Padstrom bei 1600 V Anodenspannung synchron gemessen und in Verhältnis gestellt. Das Ergebnis konnte bei verschiedenen Hochspannungen und mehreren Auslesekammern reproduziert werden. Es ist zu sehen, daß beide Ströme eine quasi-feste Proportion haben.

Die Uniformitätstests haben abgesehen von der Qualifizierung auch eine wichtige Funktion während der Herstellung der Detektoren: Lose Drähte, Fehlkontakte zum Beispiel fallen in diesen Tests auf. Bevor eine Detektor Kammer endgültig verklebt wird, ist es üblich, daß sie mehrmals die Uniformitätstests durchläuft. Abhängig von den Ergebnissen werden außerdem Maßnahmen ergriffen die Gasverstärkung in die 15% Toleranz Grenze zu bringen. Nach der Verklebung wird der Uniformitätstest zur Prüfung wiederholt. Eine kontinuierliche Verbesserung aufgrund dieser Maßnahme kann in Abbildung 4.4 gesehen werden.

3.4.1 Messung

Bevor die Messungen gestartet werden, muß gewährleistet sein, daß der Sauerstoffgehalt entsprechend niedrig ist. Die eingestellte Anodenspannung beträgt 1600 V und die Driftspannung -2000 V. Des weiteren sollte Der Dunkelstrom nicht mehr als einige Nanoampere betragen. Dunkelstrom kann durch eventuelle Verunreinigungen entstehen, die dann bei angelegter Hochspannung als Elektronenquelle fungieren und einen Strom verursachen.

Die Uniformität wird in zwei Prozeduren getestet: Die komplette Fläche mit 120 Meßpunkten und entlang einer Linie, senkrecht zur Drahtrichtung mit 560 Meßpunkten und entsprechender höheren Auflösung. In den nächsten Abschnitten werden diese Tests ausführlich beschrieben.

3.4.2 Partielle Ablösung der Eisen Quelle

Ursprünglich wurden alle Qualitätstests bis auf den Test der Zeilenuniformität mit der ^{55}Fe Quelle verwirklicht. Letzteres wurde erst durch den Teststand mit präziser Schrittmotorsteuerung möglich. Aber auch der Test der Flächenuniformität wurde fortan auf dem neuen Teststand mit einer Röntgenquelle verwirklicht. Die Röntgenquelle hat den Vorteil, daß sie bis zu 20 fach höhere Ströme liefert und folglich vom Rauschen sehr gut abhebt. Hinzu kommt, daß man die Energie fast bis zu 10 keV variieren kann. In einigen Fällen waren gewisse Strukturen, bzw. Nicht-Uniformitäten mit der Eisen-Quelle nicht erkennbar und wurden dann mit der Röntgenquelle festgestellt. Dies kann ein Hinweis sein, daß die Strahlen der Röntgenquelle besser kollimiert sind. Dies würde zu Folge haben, daß die Drahtstruktur besser aufgelöst werden kann. Eine Untersuchung zur Kollimierung wurde allerdings nicht durchgeführt.

3.4.3 Wichtung

Der Emissionsstrom, der von der Röntgenquelle geliefert wird, ist nicht konstant. Bei Neueinschalten der Röntgenquelle, klingt sich der Emissionstrom nach etwa einer 45

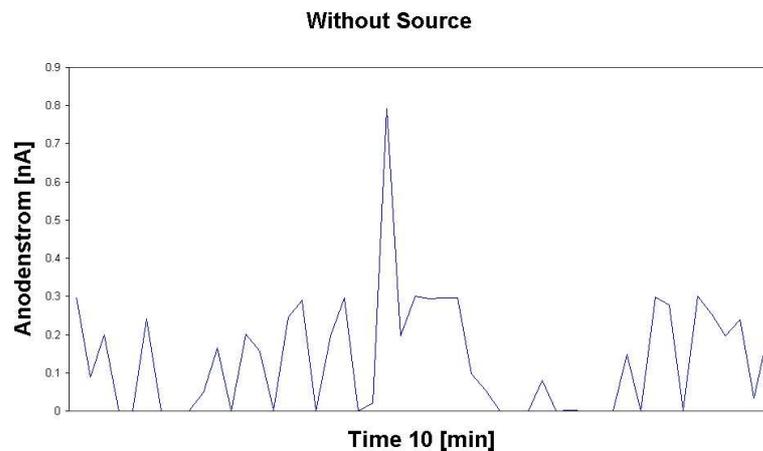


Abbildung 3.10: Anodenstrom der Auslesekammer ohne Strahlungsquelle, bzw. Dunkelstrom der Auslesekammer

minütigen Aufwärmphase ein bzw. die Röntgenquelle muß zunächst thermalisieren. Danach hat die Röntgenquelle eigentlich schwache Fluktuationen. Dennoch koennen ab und zu intensivere Fluktuationen auftreten, die inmitten einer Messung ins Gewicht fallen und die Ergebnisse verfälschen würden.

Zur Messung wurde die Auslesekammer in der geometrischen Mitte der Radiatoroberfläche mit der Röntgenquelle für bestimmte Zeit bestrahlt. Es wurde in jeder 300. Millisekunde der Anodenstrom, der Emissionsstrom, der Druck und die Temperatur gemessen. Auch für diese Messung wurde ein kleines Labview Programm entworfen, das hier nicht präsentiert wird. Die Hochspannung der Röntgenquelle wurde auf 8,5 kV eingestellt. Anodenspannung und Kathodenspannung der Auslesekammer betragen 1600 V und -2000 V.

Um ein Gefühl für die Schwankungen zu bekommen wurden Messungen ohne Strahlungsquelle und mit der Eisen-Quelle durchgeführt. In Abbildung 3.10 wurde für kurze Zeit der Stromverlauf der Anode aufgezeichnet, ohne eine Strahlungsquelle zu verwenden. Schwankungen unter 1 nanoAmpere sind zu sehen. In der Abbildung 3.11 ist der Stromverlauf der Anode zu sehen, bei der Messung bei der die Eisen-Quelle als Strahler verwendet wurde. Abweichungen vom Mittel halten sich in der 1,5 Nanoampere Grenze. Die generelle Abnahme kann von Druck, Temperatur, Gasmischung oder Dunkelstrom herrühren. Die Messung mit der Röntgenquelle wurde über eine Zeit von 9 Stunden und 45 Minuten vollzogen. Die beiden Diagramme in Abbildung 3.12 zeigen, daß der Anodenstrom dem Emissionsstrom folgt. Die anfänglich hohen Werte zeigen die Einschaltphase. Der Abfall der Stromwerte kurz am Ende des Diagramms sind Daten die beim Abschalten noch gemessen wurden. Markant ist das vorübergehende Einbrechen des Stroms nach etwa 6 Stunden, was in beiden Diagrammen zu sehen ist. Dieses Einbrechen konnte in mehreren Messungen reproduziert werden. Wann dieser Effekt eintritt ist nicht vorherzusehen, was eine Rechtfertigung für die Wich-

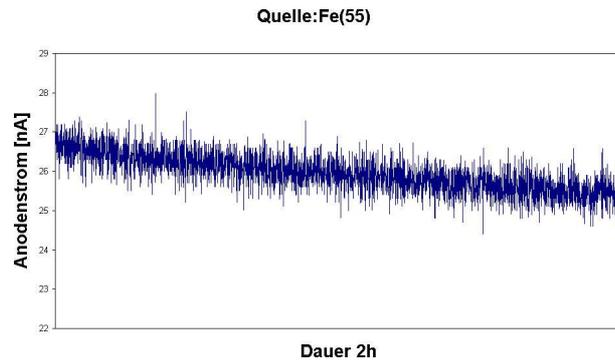


Abbildung 3.11: Anodenstrom der Auslesekammer bei Messung mit Eisenquelle als Strahler

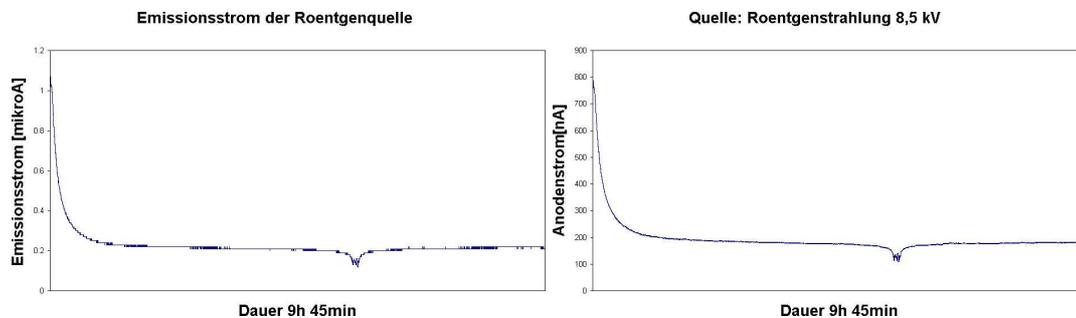


Abbildung 3.12: Links: Zeitverlauf des Emissionsstroms. Rechts: Zeitverlauf des Anodenstroms.

tion darstellt. Um andere Einflüsse auszuschließen, wurden Temperatur und Druck synchron aufgezeichnet. Die Diagramme sind in Abbildung 3.13 zu sehen. Der Temperaturverlauf ist sehr stabil bis auf den Sprung im letzten Moment, der asynchron mit dem Einbruch des Stroms liegt. Der Druck schwankt um 1,5 mbar um das Mittel während der etwa 10 stündigen Messung. Die Gasverstärkung M ist proportional zum Townsend Koeffizient α . Der Townsend Koeffizient α ist die Anzahl der vervielfachten Elektronen pro Länge. Entsprechend gilt Gleichung 3.3.

$$\ln M = \int \alpha(x) dx \quad (3.3)$$

Der Townsend Koeffizient ist von dem elektrischen Feld abhängig, das wiederum ortsabhängig ist. Für den Townsend Koeffizienten gilt Gleichung 3.4.

$$\frac{\alpha(x)}{p} = A \cdot e^{-\frac{Bp}{E(x)}} \quad (3.4)$$

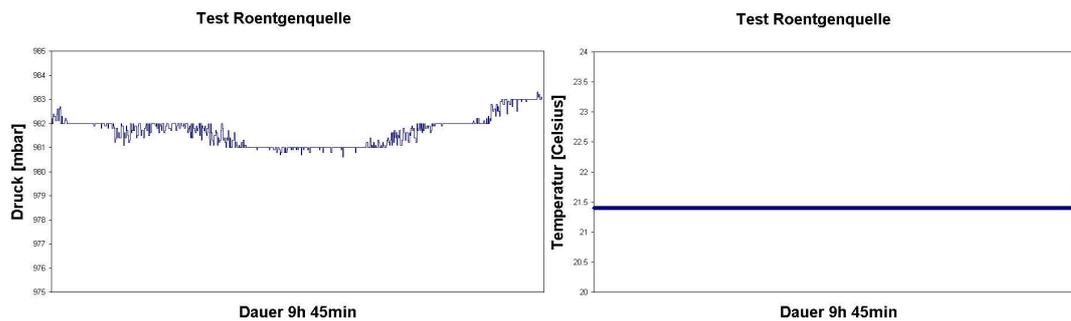


Abbildung 3.13: Links Druckverlauf während der Messung. Rechts: Temperaturverlauf während der Messung

Dabei sind die noch nicht erläuterten Größen:

- p , Druck
- $E(x)$, Ortsabhängige elektrische Feldstärke
- A, B , Gasspezifische Parameter

[Sau77]

Die Druckschwankungen von 1,5 mbar haben aufgrund Gleichung 3.4 einen Einfluss von 3% auf die Gasverstärkung. Dabei wurden grobe Approximationen für die elektrische Feldstärke gemacht. Ein starker Einfluß des Drucks auf diese Messungen kann in diesem Zusammenhang ausgeschlossen werden.

Was für eine Qualität hat die Proportionalität? In Abbildung 3.14 ist der Röntgenstrom gegen den Anodenstrom aufgetragen. Es wurde ein polynomischer Fit in die Meßpunkte gelegt, der einen sehr schwachen quadratischen Charakter hat; der lineare Term des Polynoms dominiert. Für Qualifizierungszwecke ist daher eine lineare Wichtung ausreichend. Der Zweig im Bereich niedriger Ströme kommt von den Daten während des erwähnten Einbruchs. Die lineare Wichtung zeigt in solchen Situationen eine leichte Schwäche. Dieser Effekt ist auch in dem Diagramm in Abbildung 3.15 zu sehen, wo das Verhältnis der Ströme über die Zeit aufgetragen ist. Bei starken Differenzen des Stroms wie in der Einklingphase ist die Wichtung eingeschränkt, bzw. es ist keine Linearität mehr gegeben. Die Fluktuationen des Emissionsstroms und die Auflösung des Auslesegeräts bewegen sich in der gleichen Größenordnung. Der Emissionsstrom ist bis zu 0,01 mikroAmpere aufgelöst, was sich im Diagramm als Kaskadenstruktur bemerkbar macht.

3.4.4 Flächen-Scan

Das VI, das programmiert wurde um den Flächentest zu machen heißt "Area-scan". Das Frontpanel ist in Abbildung A.1 und ein Auszug aus dem Blockdiagramm um einen Einblick in die graphische Programmierung zu bekommen ist in Abbildung A.2

Emissionsstrom vs Anodenstrom

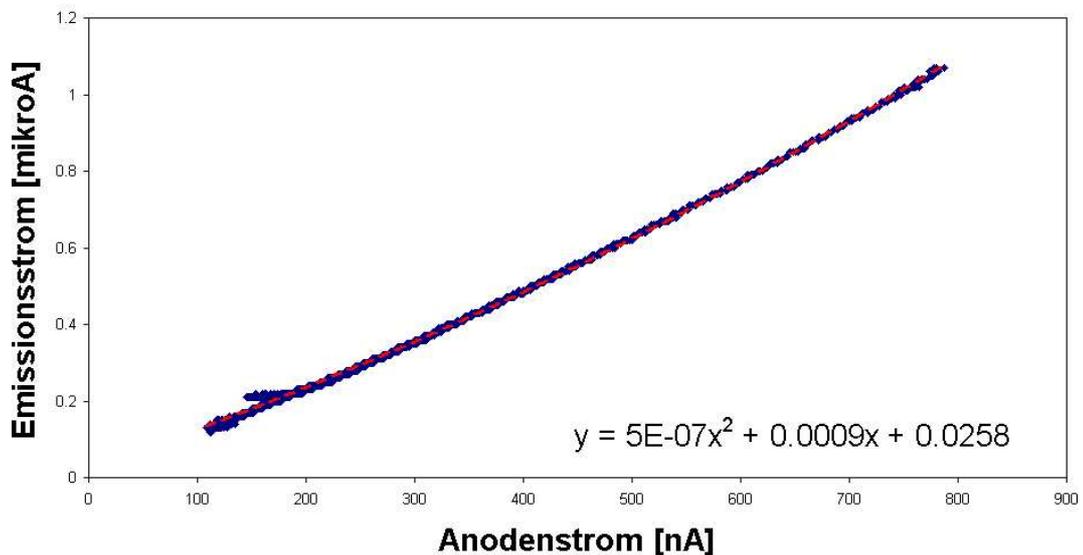


Abbildung 3.14: Verhältnis zwischen Emissionsstrom der Röntgen Quelle und dem Anodenstrom des Detektors

zu sehen. Das Programm wurde als “fire & forget“ Programm konzipiert, das heißt nach starten des Programms wird die Messung einschließlich der Datenverwaltung vollautomatisch verwirklicht. Wie man in Abbildung A.1 sehen kann, ist das Frontpanel in 3 Hauptsegmente unterteilt. Das linke Segment informiert über die Position des Schrittmotors. Der Position des Schrittmotors entsprechend leuchtet ein Indikator. Das mittlere Segment informiert im Infoboard, was das Programm gerade macht. Da ein Test etwa 45 Minuten dauert, wurde eine zentrale Anzeige über den Fortschritt des Programms eingesetzt. Der Test dauerte in seinen ersten Versionen etwa 1 Stunde. Es wurde ein zu der Mechanik des Teststands und zu den Schrittmotoren kompatibles Ramping Programm- ebenfalls in Labview- geschrieben, das die Motoren beschleunigen konnte. Im mittleren Segment ist rechts unten ein Drehschalter an dem man die Größe des zu testenden Detektors einstellen kann. Da bei der GSI die Herstellung von L5- und L4-Typ (siehe Einleitung Punkt TRD) Auslesekammern vorgesehen sind, gibt es die Einstellungen 4 und 5. Vor Testbeginn wird der Schalter auf entsprechende Position gedreht. Selbstverständlich kann das Programm für weitere Größen erweitert werden. Das rechte Segment dient zur Eintragung des Speicherorts der Daten, und Details zum Test, gibt aber auch Informationen bezüglich des aktuellen Anodenstroms, Padstroms, Kathodenstroms, Emissionsstroms, gewichteten Stroms und der Anodenspannung und Position der Schrittmotoren in Zentimetern.

Wenn das Programm gestartet wird, werden die Motoren in Initial Position gefahren und es werden mit Zeitstempel versehene Dateien erzeugt, die der Aufnahme der

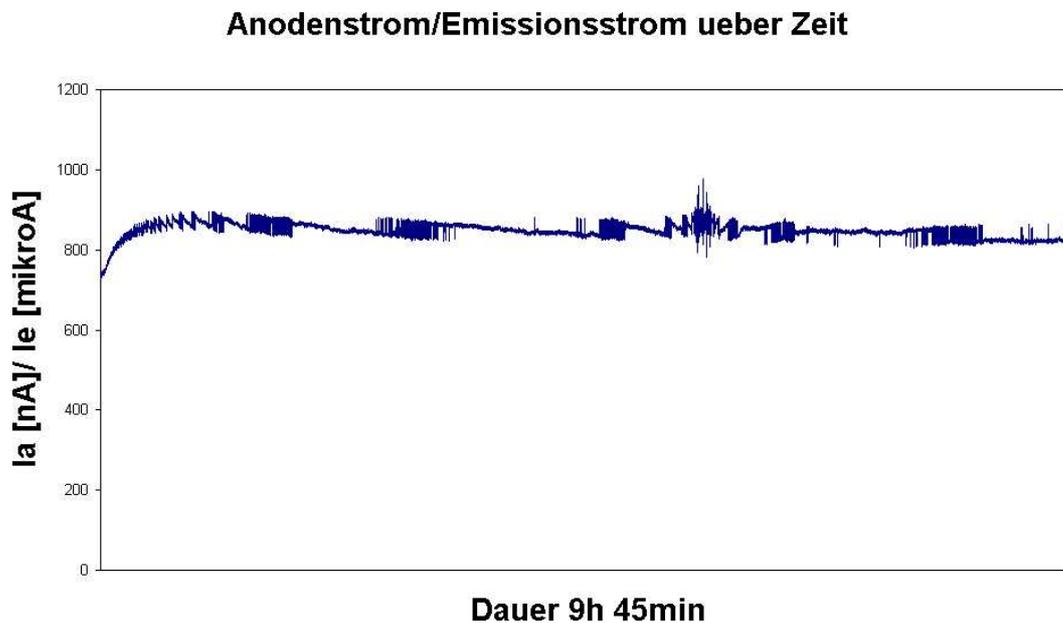


Abbildung 3.15: Verhältnis Anodenstrom zu Emissionsstrom über Zeit

Meßdaten dienen. Danach werden 120 Meßpunkte in numerischer Reihenfolge wie auf dem Frontpanel in Abbildung A.1 angefahren und es wird jeweils der Anodenstrom gemessen. Die gleichmäßig verteilten 120 Meßpunkte wurden so positioniert, daß sie keine Streben im Radiator treffen, was zu einer Verfälschung der Messung führen könnte. Das heißt die Meßpositionen die angefahren werden sind teilweise leicht versetzt und folglich nicht perfekt äquidistant. Die aktuellste Version des Programms misst am Anfang den Dunkelstrom und fährt am Ende die Quelle aus der Bestrahlungszone und mißt noch einmal den Dunkelstrom. Diese Version ist noch nicht eingeführt worden. Zum Schluß werden die Motoren wieder in Initial Position gefahren und während dessen werden Daten sortiert, in Matrix-Form gebracht, und es werden sowohl für die lokale Datenverwaltung als auch für die Übertragung in die Datenbank entsprechende Strukturen generiert.

Einige Resultate eines Flächentests in graphischer Form sind als Beispiel in den Abbildungen 3.16 und 3.17 in verschiedenen Ansichten zu sehen. Die Gradienten der Gasverstärkung wurden in Farbtönen ausgedrückt. Die Graphen ermöglichen einen bildlichen Eindruck der Uniformität, bzw. der Verteilung der Gasverstärkung. Die Graphen wurden mit root[Roo] und Origin[Ori] realisiert.

3.4.5 Linien-Scan

Der Uniformitätstest einer Zeile verläuft fast identisch wie der area-scan. Diesmal wird nur eine horizontale Zeile aber dafür intensiv gemessen. Es werden 560 Punkte in einer

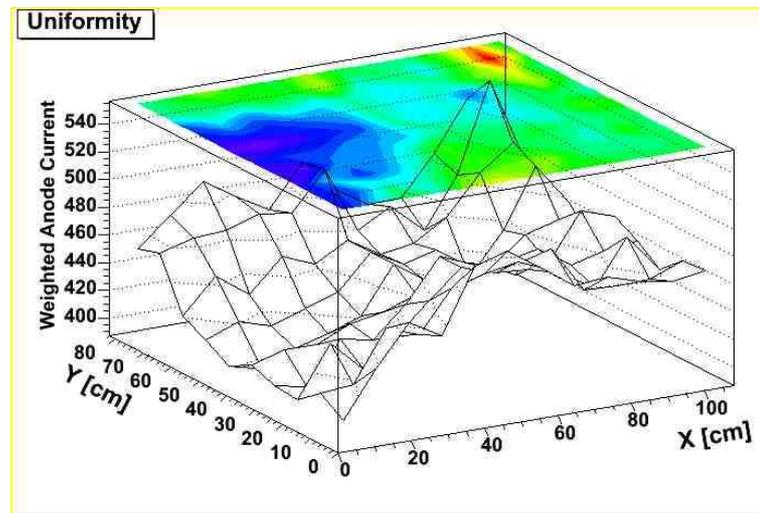


Abbildung 3.16: Quasi-Fingerabdruck: Beispiel einer Verteilung der Gasverstärkung über die Detektorfläche in 3-D Ansicht

Zeile gemessen, sodaß die Struktur der vertikal verlaufenden Drähte aufgelöst werden kann.

Das hierzu programmierte VI ist in Abbildung A.3 zu sehen. Im Vergleich zu area-scan ist hier in der Mitte ein Auswahlknopf mit dem man die zu testende Zeile einstellen kann. Im linken Segment sind Balken, die den Fortschritt des scans in der angewählten Zeile anzeigen.

Resultat einer solchen Messung in graphischer Darstellung kann man in Abbildung 3.18 sehen. Die Absorption der Röntgenstrahlung in den Streben in dem Radiator und ein folglich schwächerer Anodenstrom ist eindeutig zu erkennen. Die Streben stellen eine größere Flächendichte dar und bewirken eine höhere Absorptionswahrscheinlichkeit für die Röntgenstrahlung. Ein gerissener Draht wäre bei einem solchen Diagramm ebenfalls sehr leicht zu bemerken. Der Anodenstrom der Ausleseammer würde bei der Position des Drahttrisses sehr stark einbrechen.

3.5 Datenbank

Die Informationen aus den Qualitätstests helfen beim Aufbau und zur Kalibrierung während des Betriebs des ALICE Detektors. Aber auch bei Offline-Analysen werden die Informationen aus den Tests hilfreich sein. Um auf diese Informationen zugreifen zu können, wurde als Plattform eine Datenbank eingerichtet: Die Detector Construction Database, kurz DCDB. Alle programmierten VI's wurden so eingerichtet, daß nach einer Messung die Resultate online in die Datenbank übertragen werden können.

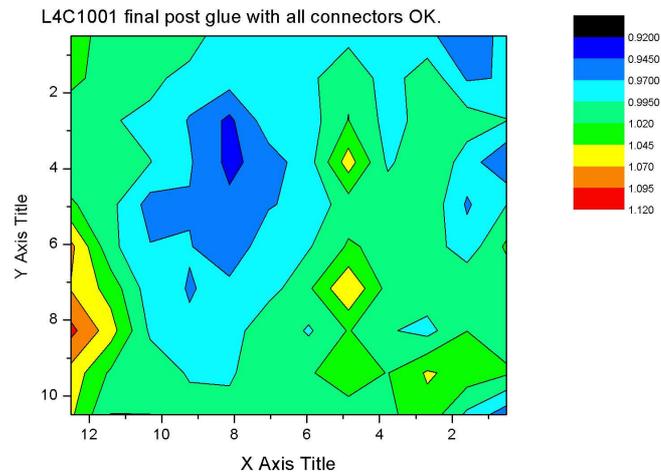


Abbildung 3.17: Quasi-Fingerabdruck: Verteilung der Gasverstärkung über die Detektorfläche

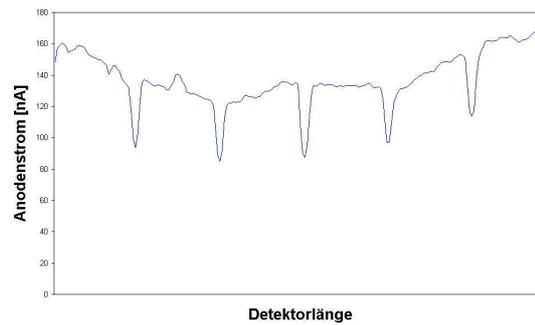


Abbildung 3.18: Eindimensionale horizontale Uniformität über die Detektorlänge

Ein Auszug des Web-Interface mit Einträgen einer Auslesekommer ist als Beispiel in Abbildung A.4 zu sehen.

Kapitel 4

Einige physikalische Kenngrößen der GSI Kammern

In diesem Kapitel werden die Resultate von den bereits diskutierten Qualitätskriterien und Meßmethoden präsentiert. Einige physikalischen Kenngrößen der TRD Auslesekammern wurden evaluiert und statistisch behandelt. Für die Leckraten und Uniformität wurden Trendanalysen gemacht. Gegenstand der Statistiken sind 28 TRD Auslesekammern die an der GSI hergestellt und zum Zeitpunkt dieser Diplom-Arbeit den Status "Ready for shipment" bekommen hatten.

4.1 Leckrate

Eine Zusammenfassung der Leckraten als Histogramm ist in Abbildung 4.1 zu sehen. In dem Histogramm ist zu sehen, daß die Werte für die Leckraten um 1 mbar lt/h gestreut sind. Obwohl einige Auslesekammern eine höhere Leckrate als 1 mbar lt/h haben, kann dies toleriert werden, da andere Auslesekammern mit wesentlich geringeren Leckraten, die mittlere Leckrate ausgleichen. Für 28 Auslesekammern erhalten wir im Durchschnitt eine Leckrate von 0,85 mbar lt/h. In Anbetracht des Kostenfaktors bestehen daher keine Bedenken. Auch im Bezug auf Signalschwächung bestehen bei dieser Größenordnung von Leckraten keine Bedenken. Siehe hierzu Abschnitt Leckrate im Kapitel Testverfahren für Übergangsstrahlungsdetektoren.

4.2 Gasverstärkung

Die Zusammenfassung der 28 Kammern bezüglich der absoluten Gasverstärkung sind in Abbildung 4.2 zu sehen. Die Werte in dem Histogramm können leider nur als grober

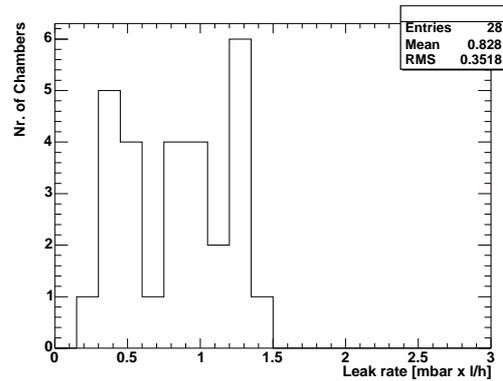


Abbildung 4.1: Zusammenfassung der Leckraten von 28 TRD Ausleseammern

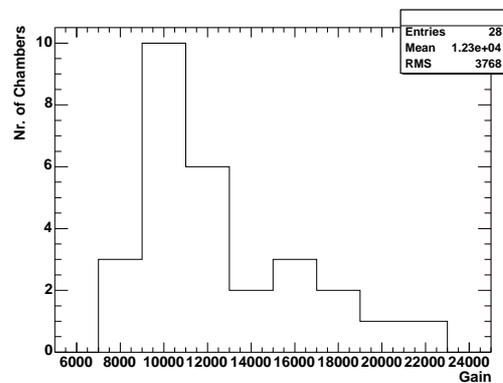


Abbildung 4.2: Histogramm der Gasversärkungen von 28 TRD Ausleseammern.

Anhaltspunkt dienen, in welchen Bereichen wir uns bewegen. Der Teststand ist in unmittelbarer Nähe des Beschleunigers UNILAC lokalisiert. Durch Störsignale muss die Energieschwelle des Diskriminators individuell bei jeder Messung neu eingestellt werden. Dies führt dazu, daß ein entsprechender Teil der Pulse abgeschnitten wird und das folglich der Absolutwert der Gasverstärkung variiert. Die Werte der Gasverstärkungen im Histogramm beziehen sich auf die Standarteinstellungen der Hochspannungen der Ausleseammer, das heißt 1600 V Anodenspannung und -2000 V Driftspannung.

4.3 Uniformität

Beispiel Resultate für einzelne Kammern wurden bereits im Kapitel Testverfahren für TRD Ausleseammern gezeigt. Eine Zusammenfassung der Uniformität von 28 Ausleseammern kann man in Abbildung 4.3 sehen. Nach der Berechnung des Mittelwerts

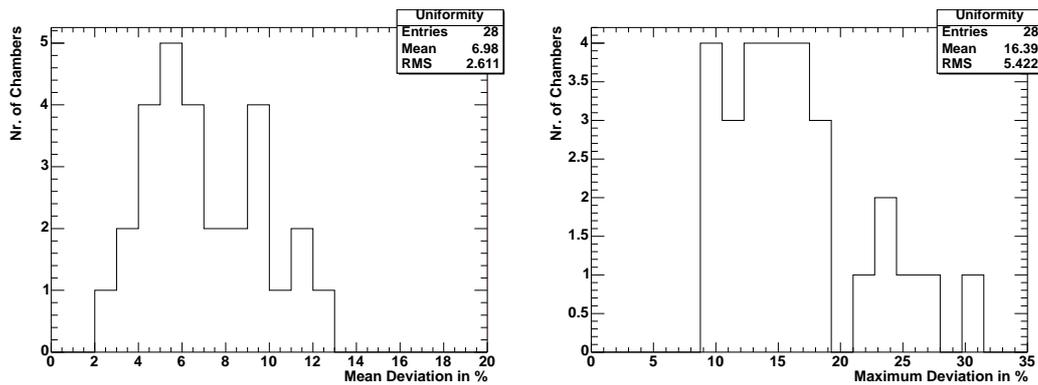


Abbildung 4.3: Links: Mittlere Abweichung vom Mittel in Prozent. Rechts: Maximale Abweichung vom Mittel in Prozent

der Anodenströme wurden die Abweichungen gemittelt und in Prozent für jede Kammer ausgerechnet. Abbildung 4.3 zeigt ein Histogramm der einzelnen mittleren Abweichungen der Ausleseammern. Allerdings müssen nicht die Mittelwerte der Abweichungen in der 15 % Toleranz Grenze liegen sondern alle Punkte. Als Kriterium wurde daher der schlechteste bzw. der entfernteste Punkt vom Mittel gewählt. Die Abweichung dieser Punkte zum Durchschnitt als Histogramm für alle Kammern ist in Abbildung 4.3 zu sehen. Einige Kammern überschreiten die Toleranzen. Es wird vermutet, daß die Uniformität durch die Unebenheit der Kathodenplatte verursacht wird, da in diesem Fall die Abstände der Pads zu der Anodendrahtebene variieren. Glücklicherweise zeigt sich ein Trend in Richtung einer kontinuierlichen Verbesserung in der Produktion. Hierzu siehe Abbildung 4.4. Die maximale Abweichungen der Ausleseammern wurden in chronologischer Reihenfolge in das Diagramm eingefügt. Der Trend ist auch bei der mittleren Abweichung deutlich erkennbar; s. Abbildung 4.4. Eine Verbesserung wurde teilweise durch Einlegen von Folien mit 200 bis 400 Mikrometer Durchmesser an gezielten Stellen zwischen Rückseite und Kammerrahmen erreicht. Die Folien werden, wie in Abbildung 4.5 zu sehen ist, zwischen die Kontaktflächen des Rahmens und der Rückseite der Detektor Kammer geklebt. Bevor die Ausleseammer endgültig verklebt wird, wird ein Flächen-Scan durchgeführt. Den Resultaten des Flächen-Scans entsprechend werden die Folien so gelegt, das sie die Inhomogenität ausgleichen. Der Abstand zwischen Kathodenebene und Anodendrähten wird an den entsprechenden Stellen vergrößert, welches die Gasverstärkung gemäß Gleichung 3.3 beeinflusst. Das Problem der Nicht-Uniformität taucht fast ausschließlich bei den größten TRD Kammern auf. Die Dimensionen scheinen das Limit bezüglich mechanischer Steifigkeit für TRD Kammern aus solchen Materialien darzustellen. Mit dem gleichen Konstruktionsprinzip würden größere TRD Kammern womöglich die Äquidistanz der Kathodenplatte und der Drahtebenen nicht mehr gewährleisten und somit eine Toleranzgrenze von 15% nicht mehr einhalten können.

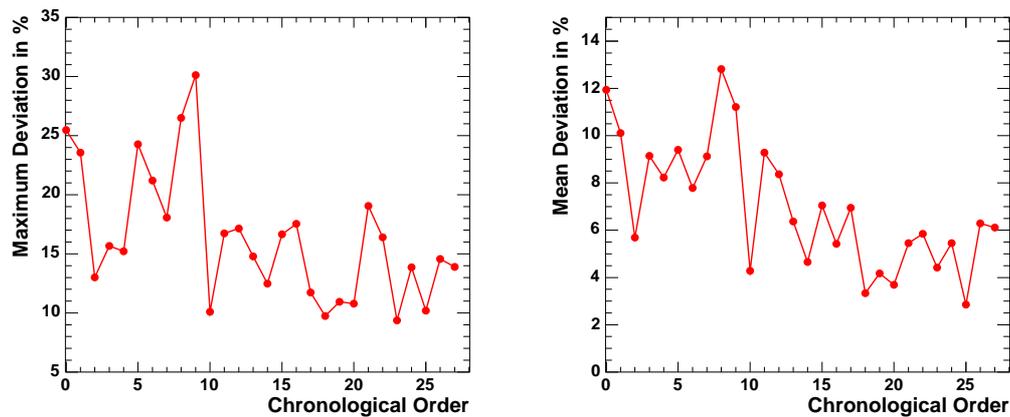


Abbildung 4.4: Links: Maximale Abweichung in chronologischer Reihenfolge bezüglich der Produktion. Rechts: Mittlere Abweichung in chronologischer Reihenfolge bezüglich der Produktion

4.3.1 Streben Absorption

In Abbildung 3.18 wurde bereits gezeigt, daß die Streben in dem Radiator die Röntgenstrahlung stärker absorbieren und so eine Schwächung des Anodenstroms hervorrufen. Um zu untersuchen, ob der Einfluß der Streben auch bei höheren Energien zu sehen ist, wurden drei Messungen bei 8 kV, 9V und 10 kV Hochspannung der Röntgenquelle durchgeführt. Der Flächen-Scan und der Linien-Scan werden üblicherweise bei 8,5 kV durchgeführt. Die Graphen sind in Abbildung 4.6 zu sehen. Da die Röntgenquelle mit maximal 10 kV betrieben werden kann, konnten keine Messungen zu höheren Energien gemacht werden. Bei 8 kV sind Einbrüche im Anodenstrom von 22% bis 30% zu beobachten. Bei 9 kV sind es 20% bis 23% und bei 10kV, 18% bis 21%. Es ist ein Trend zu erkennen, daß bei höheren Energien die Streben besser “durchleuchtet“ werden.

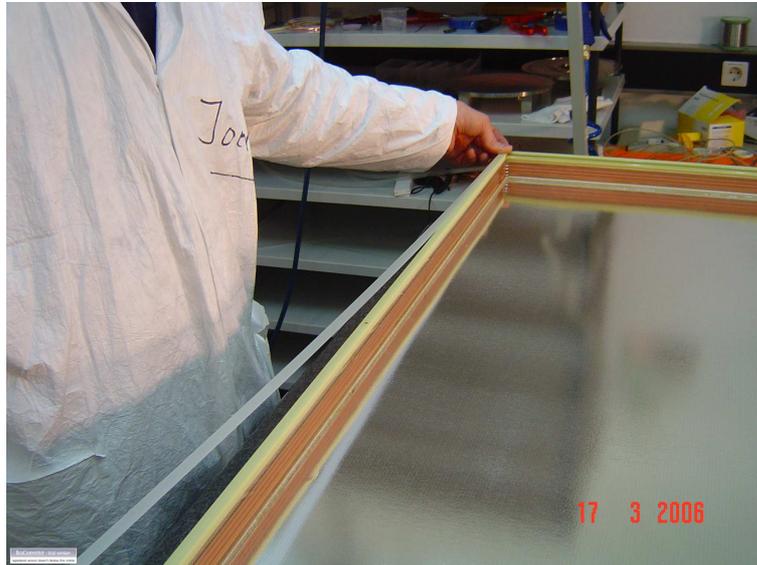


Abbildung 4.5: Die Folie wird wie sie im Bild zu sehen ist eingeklebt.

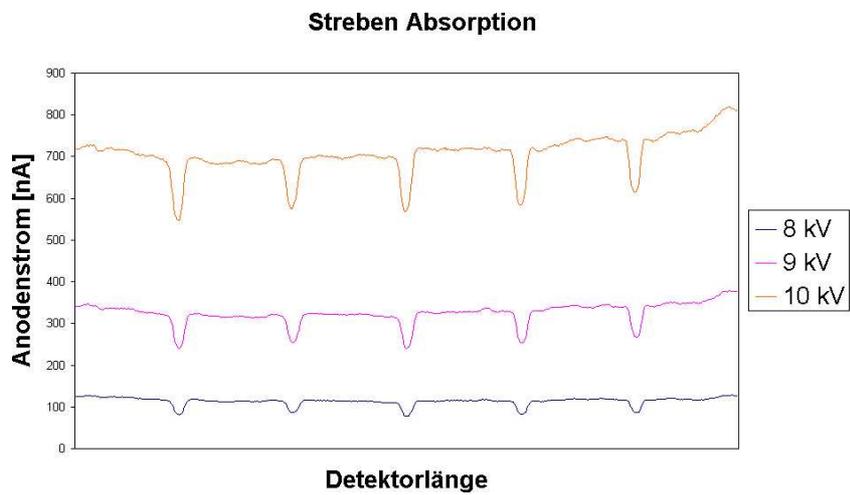


Abbildung 4.6: Absorptionswirkung der Streben bei unterschiedlichen Hochspannungen der Röntgenquelle

Anhang A

Abbildungen

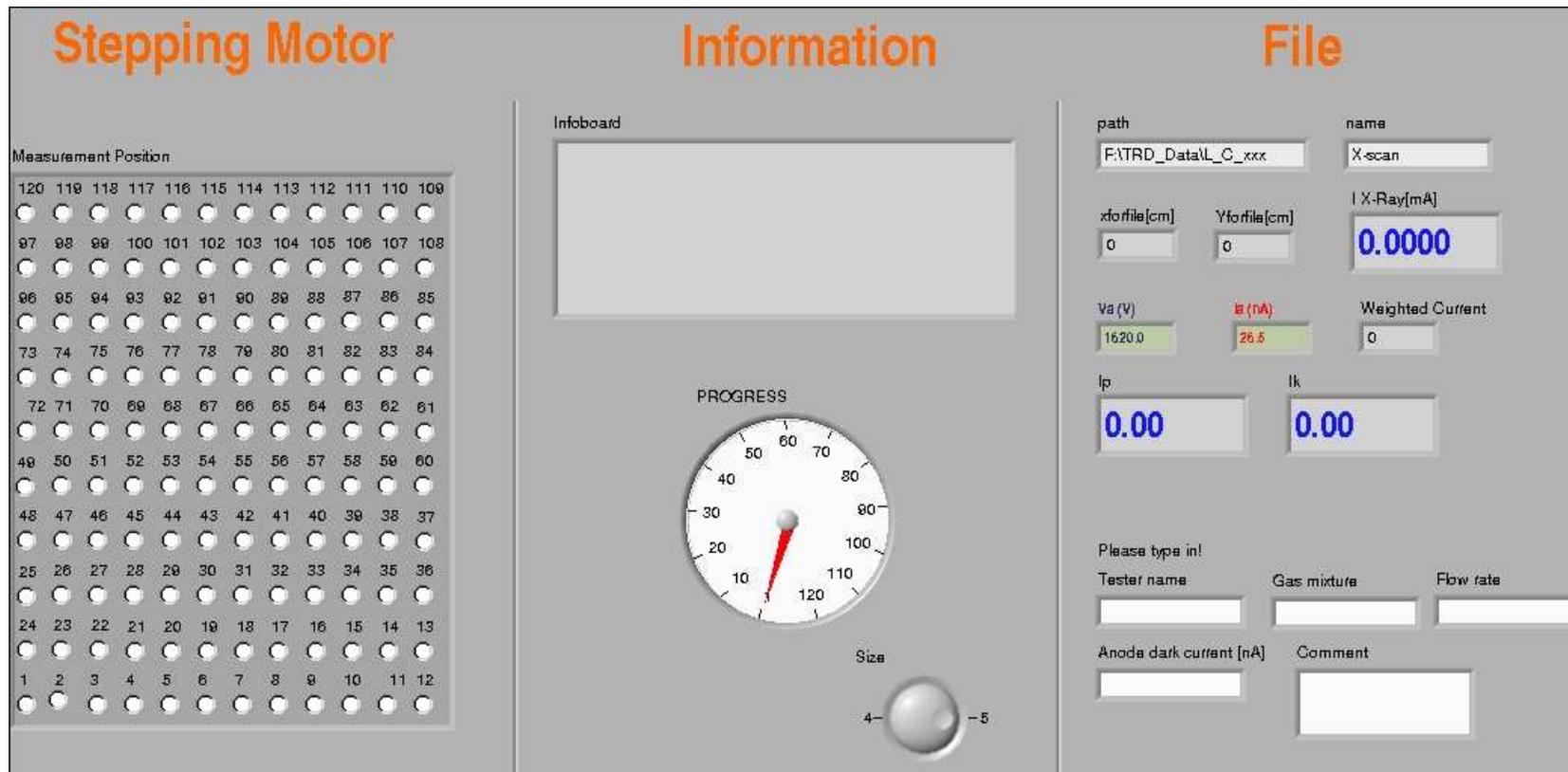


Abbildung A.1: Das Frontpanel des VI's area-scan

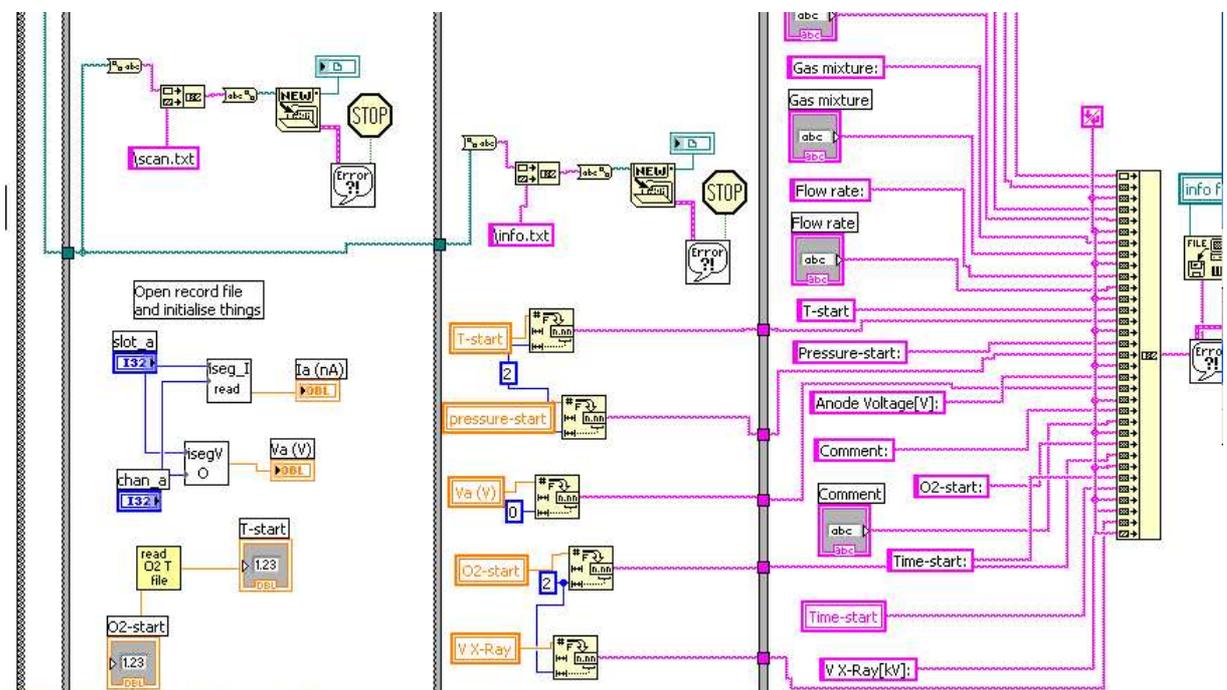


Abbildung A.2: Auszug aus dem Blockdiagramm des VI's area-scan

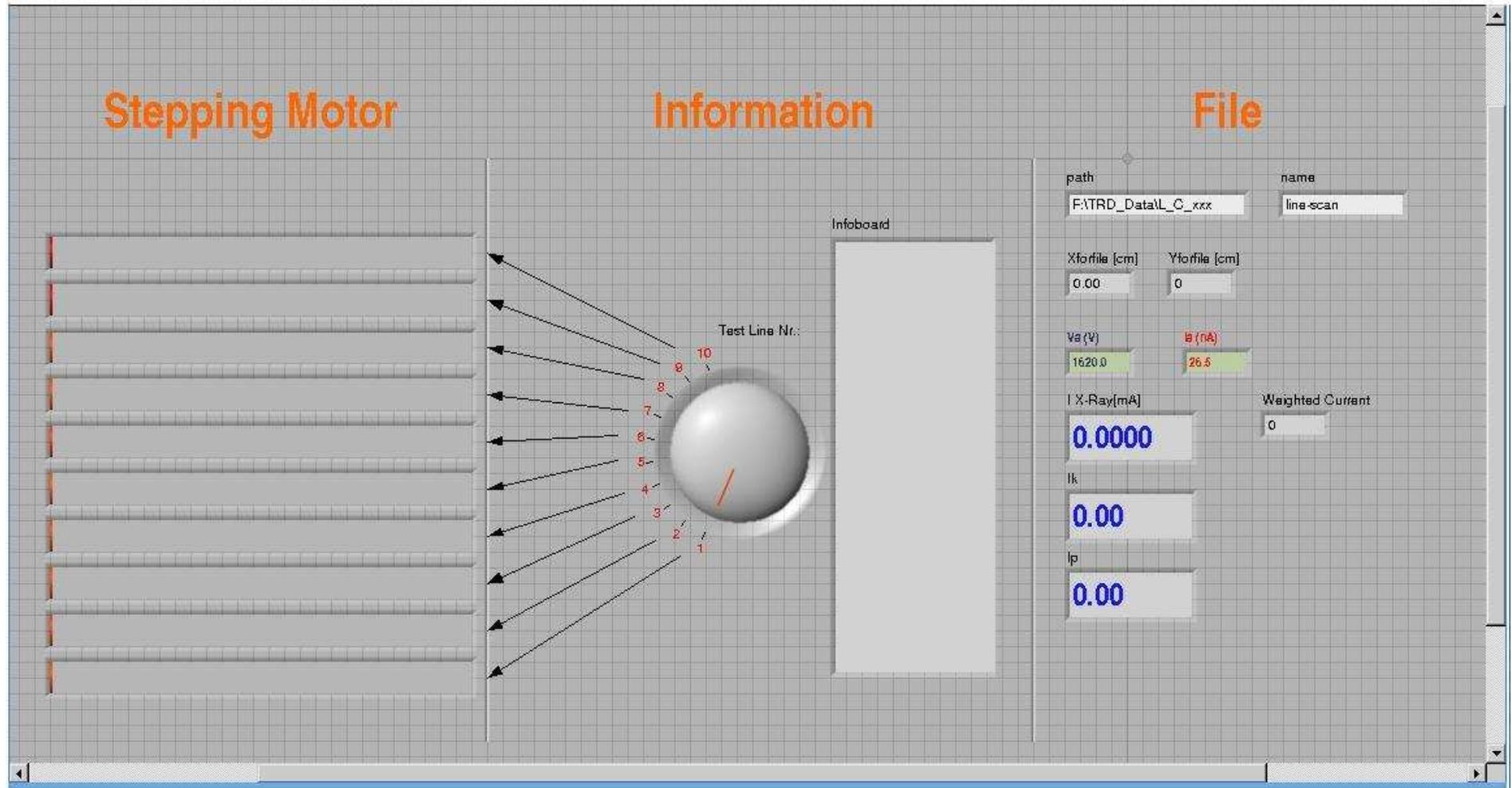


Abbildung A.3: Das Frontpanel des VI's line-scan.

DCDB Data Management System - Konqueror

Location Edit View Go Bookmarks Tools Settings Window Help

Location: <http://lxs05.gsi.de:8080/rabbit-test/component/processes.do?componentId=1940&typeCode=TRDROC&>

ALICE DCDB
Data Management System

Welcome aliceTRD [About](#) [Help](#) [Options](#) [Logout](#)
[Register](#) [Search](#) [Statistics](#)
 DMS location: / TRD / TRDROC / 1940 :: processes / [Back to Main](#)

Current component:

Alice Id:	Type code:	Local Id:	Serial No:	More details:
1TRDHDP000001932	TRDROC	TEST111L0C1#003G	--	

Processes (7 found)

Process Date	Process Name	Value	Details	Processed by	Description
2006-01-30 16:53:17	Chamber Conditioning			Rainer Schicker	--
2006-01-30 16:53:17	Chamber Measurement			Rainer Schicker	--
2006-01-30 16:53:17	Absolute Gain			Rainer Schicker	--
2006-01-30 16:53:17	Gain Uniformity			Rainer Schicker	--
2006-01-30 16:53:17	Leakrate			Rainer Schicker	--
2006-01-30 16:53:17	Spectral Measurement			Rainer Schicker	--
2006-01-30 16:53:17	Long Term Stability			Rainer Schicker	--
Process Date	Process Name	Value	Details	Processed by	Description

©2000-2004 ALICE Detector Construction Database Group, Warsaw University of Technology

Abbildung A.4: Auszug aus dem Web-Interface der Datenbank

Literaturverzeichnis

- [Col04] ALICE Collaboration. Alice: Physics performance report. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, pages 1517–1763, 19 October 2004.
- [Dol92] Boris Dolgoshein. Transition radiation detectors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, pages 434–469, 19 July 1992.
- [GG74] C. Yang G.M. Garibyan, L.A. Gevorgyan. X-ray transition radiation produced in an irregular medium. *Sov. Phys.-JETP*, 39 No. 2, August 1974. Copyright ©1975 American Institute of Physics.
- [Lab] LABVIEW 7.1 graphic programming tool. www.ni.com/labview. Firma National Instruments.
- [Lex00] *Lexikon der Physik*, volume 4. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, 2000. ISBN 3-8274-1462-8.
- [Orb] Orbisphere Laboratoires Model 3600 Analyser. Neuchatel/ Geneva; Switzerland.
- [Ori] Origin v7. <http://www.OriginLab.com>. OriginLab Corporation, Northampton USA.
- [Roo] Object-oriented data analysis framework. <http://root.cern.ch>.
- [Sau77] F. Sauli. Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers. *CERN 77-09*, 1977.
- [Tec01] *ALICE Technical Design Report of the Transition Radiation Detector*. CERN/LHCC 2001-021 ALICE TDR 9. 2001. ISBN 92-9083-184-7.
- [XA75] G. Mennessier X. Artru, G.B. Yodh. Practical theory of the multilayered transition radiation detector. *Physical Review D*, 12 Number 5, 1 September 1975.

Danksagung

Abschließend danke ich allen die dazu beigetragen haben diese Diplomarbeit anzufertigen und möchte die nachfolgenden Personen hervorheben. Mein besonderer Dank gilt meiner Frau für ihre geduldige Unterstützung während meiner Diplomarbeit und meinen Kindern für den manchmaligen Verzicht auf gemeinsame Stunden. Ich danke Herrn Prof. Peter Braun-Munzinger für die Aufnahme in ein aufregendes Projekt und die Ermöglichung dieser Diplomarbeit und der Teilnahme an etlichen Tagungen und Konferenzen. Bei Herrn Dr. Anton Andronic bedanke ich mich für die ausgezeichnete Betreuung und die vielseitige Unterstützung während dieser Diplomarbeit. Herrn Dr. Christian Lippmann danke ich für die herzliche Hifestellung zu vielen Themen und für das Korrekturlesen. Für die Einführung in die Programmiersprache Labview und auch die Beantwortung vieler anderer Fragen bedanke ich mich bei Herrn Dr. Chilo Garabatos. Aus dem Detektorlabor danke ich Herrn Dr. Herbert Stelzer für die Hilfsbereitschaft bei Fragen und den Arbeiten rund um den Teststand. Ebenfalls aus dem Detektorlabor danke ich Herrn Dr. Christian Schmidt für die Unterstützung meiner Arbeiten rund um den Teststand, die informativen Gespräche und für das sorgfältige Korrekturlesen. Ich danke außerdem allen Kollegen und Freunden für die sympathische Atmosphäre und dem angenehmen Arbeitsklima.

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

Darmstadt, im April 2006
Sedat Altinpinar