

UNTERSUCHUNGEN AN NICHTBRENNBAREN  
GASMISCHUNGEN  
FÜR H<sub>1</sub>-STREAMERROHRKAMMERN

Experimentelle Diplomarbeit von  
OLAF DÜNGER

II. Institut für Experimentalphysik  
Universität Hamburg

Hamburg  
1990

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1	Der Elektron-Proton Speicherring HERA . . . . .	3
1.2	Der H1-Detektor . . . . .	3
1.2.1	Die Komponenten . . . . .	3
1.2.2	Streamerrohrkammern im H1-Detektor . . . . .	5
1.3	Aufgabenstellung . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Der selbstlöschende Streamermodus</b>	<b>8</b>
2.1	Funktionsweise von Drahtkammern . . . . .	8
2.2	Ein Modell zur Entstehung von Streamerpulsen . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Meßapparatur</b>	<b>10</b>
3.1	H1-Streamerrohre . . . . .	10
3.2	Trigger und Auslese . . . . .	11
3.3	Pulserkennung bei der Datennahme . . . . .	13
3.4	Hochspannungsversorgung . . . . .	15
3.5	Gasmischanlage . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Gasanalyse</b>	<b>19</b>
4.1	Ziel der Gasanalyse . . . . .	19
4.2	Aufbau . . . . .	19
4.2.1	Massenspektrometrie . . . . .	19

	2
4.2.2	Das Quadrupolmassenspektrometer . . . . . 20
4.2.3	Der Gaseinlaß . . . . . 20
4.2.4	Auswertung der Massenspektren . . . . . 22
4.2.5	Kalibration . . . . . 24
4.3	Ergebnis der Gasanalyse . . . . . 25
<b>5</b>	<b>Verhalten der Streamerrohre . . . . . 27</b>
5.1	Die verwendeten Streamerrohre . . . . . 27
5.2	Stabilität des Betriebes . . . . . 28
<b>6</b>	<b>Meßergebnisse . . . . . 30</b>
6.1	Die Nachweiswahrscheinlichkeit . . . . . 30
6.2	Schnitte gegen Ereignisse der kosmischen Strahlung mit mehreren Teilchen . 33
6.3	Ladungsverteilungen und Nachpulsen . . . . . 35
6.4	Pulshöhenverteilungen . . . . . 40
6.5	Driftzeitverteilung . . . . . 42
6.6	Die Zeitdifferenz zwischen primärem Puls und Nachpuls . . . . . 46
6.7	Nachpulsen auf den Nachbardrähten . . . . . 46
6.8	Der Einfluß von Druck und Temperatur auf die Streamerladung . . . . . 51
<b>A</b>	<b>Die Suche nach Mehrfachpulsen . . . . . 56</b>

# Kapitel 1

## Einleitung

### 1.1 Der Elektron-Proton Speicherring HERA

Die Hadron-Elektron-Ring-Anlage (HERA), die z.Zt. bei DESY im Bau ist, besteht aus einem Elektron- und einem Protonspeicherring. Die Energie der Elektronen soll  $30\text{ GeV}$ , die der Protonen  $820\text{ GeV}$  betragen. Die Schwerpunktenenergie beträgt damit  $314\text{ GeV}$ . Um die gleiche Schwerpunktenenergie bei einem Experiment mit ruhendem Target zu erreichen, müßte ein Elektronenstrahl von  $52\text{ TeV}$  zur Verfügung stehen. Durch HERA wird es möglich, Elektronen und Quarks mit einer Auflösung von einigen  $10^{-18}\text{ cm}$  zu untersuchen [1].

Der Protonenring wird mit supraleitenden Dipolmagneten bestückt, weil sich anders die benötigte Feldstärke von  $4.3\text{ T}$  nicht erreichen läßt. Später soll der Elektronenring mit supraleitenden Resonatoren nachgerüstet werden, wodurch die maximale Energie der Elektronen auf  $35\text{ GeV}$  erhöht wird. Die Polarisationszeit beträgt dann  $12\text{ min}$  und es werden Experimente mit Elektronen bekannter Helizität möglich.

Die Ringe werden mit je 210 Teilchenpaketen gefüllt, um die angestrebte Luminosität von  $1.5 \cdot 10^{31}\text{ cm}^{-2}\text{ s}^{-1}$  erreichen zu können. Die Teilchenpakete treffen sich alle  $96\text{ ns}$  in den Wechselwirkungs-zonen.

In zwei der vier Wechselwirkungs-zonen von HERA werden z.Zt. die Experimente H1 und ZEUS vorbereitet.

### 1.2 Der H1-Detektor

#### 1.2.1 Die Komponenten

In Abbildung 1.1 sind die wichtigsten Komponenten des H1-Detektors zu sehen [2]:

1: Strahlrohr und Strahlmagnete.

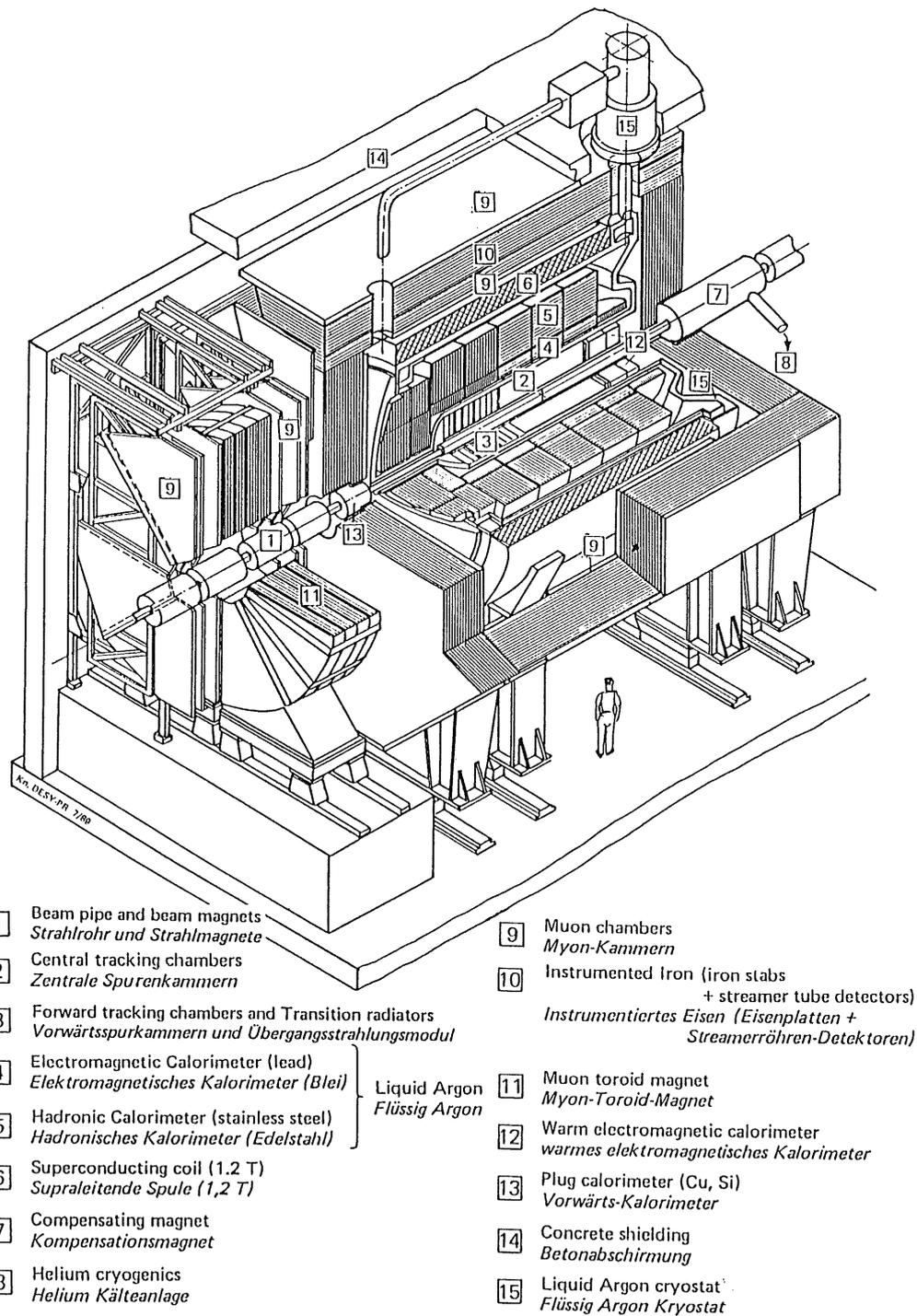


Abbildung 1.1: Der Aufbau des H1-Detektors [2]

2: Der zentrale Spurdetektor. Er besteht unter anderem aus Jet-Kammern mit 2560 Signal- und 10000 Potentialdrähten [1].

3: Der vordere Spurdetektor. Er besteht aus Radial- und Planar-Driftkammern und

enthält Polypropylen-Folien zur Erzeugung von Übergangsstrahlung.

- 4: Das elektromagnetische Kalorimeter. Es ist ein Flüssig-Argon-Kalorimeter mit Bleiplatten als Absorber.
- 5: Das hadronische Kalorimeter, ein Flüssig-Argon-Kalorimeter mit Edelstahlplatten als Absorber. Beide Kalorimeter zusammen haben eine Auflösung  $\sigma/E$  von  $12.8\%/\sqrt{E} \oplus 0.5\%$  für elektromagnetische und  $46.1\%/\sqrt{E} \oplus 1.5\%$  für hadronische Schauer haben [3], wobei  $E$  in  $GeV$  anzugeben ist.
- 6: Die supraleitende Spule hat einen Durchmesser von  $6m$ . Sie erzeugt ein Magnetfeld parallel zum Strahlrohr, das im zentralen Bereich homogen ist und eine Stärke von  $1.2T$  hat.
- 7: Kompensationsmagnet
- 8: Verbindung zur Helium Kälteanlage
- 9: Die Myonkammern bestehen aus Streamerrohrkammern. Sie bestimmen die Durchgangsorte von einzelnen Teilchen in 2 Dimensionen.
- 10: Das Eisenjoch dient zum Zurückführen des magnetischen Flusses, als Myonfilter und als Absorber für das "Tail-Catcher"-Kalorimeter. Dieses Kalorimeter soll die nicht im zentralen Kalorimeter erfaßte Energie messen. Streamerrohrkammern dienen zum Nachweis der Teilchen zwischen den Eisenplatten.
- 11: Myon-Toroid-Magnet. Er soll zusammen mit mehreren Lagen Driftkammern den Impuls von Myonen in Vorwärtsrichtung messen.
- 12: Das rückwärtige elektromagnetische Kalorimeter ist ein Blei- / Szintillator-Kalorimeter. Die Szintillatoren werden mit Photodioden ausgelesen. Die Auflösung soll für Elektronen  $13\%/\sqrt{E} \oplus 1\%$  betragen [4].
- 13: Das Vorwärts-Kalorimeter zur Messung der Energie von Teilchen die unter kleinem Winkel zur Strahlachse emittiert und vom Flüssig-Argon-Kalorimeter nicht erfaßt werden. Es werden Kupferplatten als Absorber und Siliziumdioden zur Auslese benutzt.
- 14: Betonabschirmung
- 15: Flüssig Argon Kyoostat

### 1.2.2 Streamerrohrkammern im H1-Detektor

Vor, zwischen und hinter den Platten des Eisenjochs befinden sich insgesamt 16 Lagen Streamerrohrkammern. Alle Drähte werden digital ausgelesen. Dazu werden die Pulshöhen mit einer Schwelle verglichen, und jedes Überschreiten der Schwelle wird abgespeichert. Diese Vergleiche erfolgen in dem zeitlichen Abstand mit dem sich die Teilchenpakete in der Wechselwirkungszone treffen, also alle  $96ns$ . Zusätzlich werden in jeder Streamerrohrlage auch Influenzsignale auf äußeren Elektroden ausgelesen. Zwei Doppellagen vor und hinter dem

Joch sowie eine Einfachlage dienen zum Myonen-Nachweis. Sie haben streifenförmige äußere Elektroden mit einer Breite von  $2\text{cm}$  die ebenfalls digital ausgelesen werden.

Die übrigen 11 Lagen dienen sowohl zur Myonen-Nachweis als auch zur kalorimetrischen Messung. Die kalorimetrischen Messungen werden mit Pads, rechteckigen äußeren Elektroden mit Größen zwischen  $25\text{cm} \times 25\text{cm}$  und  $50\text{cm} \times 50\text{cm}$ , durchgeführt. Die Ladung dieser Pads wird mit einem Multiplexersystem und Analog-zu-Digital-Wandlern ausgelesen. Um die Anzahl dieser analogen Auslesekanäle zu reduzieren werden durch Addition der Pulse von jeweils 5 bzw. 6 hintereinanderliegenden Pads "Türme" gebildet.

Für den Myon-Nachweis und die kalorimetrischen Messungen sind folgende Eigenschaften von Streamerrohrkammern wichtig:

- Im Streamermodus arbeitende Drahtkammern liefern hohe Ausgangssignale, so daß auf Vorverstärker verzichtet werden kann.
- Eine preiswerte Serienproduktion ist möglich, weil die wichtigsten Bauteile der Streamerrohre aus extrudierten Kunststoffprofilen hergestellt werden können.
- Kunststoffstreamerrohre können über externe Elektroden ausgelesen werden. Diese Elektroden erlauben es die Streamerladungen von Gebieten beliebiger Form und Größe zusammenzufassen und mit relativ wenigen Auslesekanälen eine Energiemessung durchzuführen.

Diese Punkte sind besonders deshalb von Bedeutung, weil insgesamt eine Fläche von etwa  $4000\text{m}^3$  abzudecken ist.

### 1.3 Aufgabenstellung

Das Streamerrohrsystem des H1-Detektors hat einen Inhalt von  $40\text{m}^3$  Zählgas. Wenn, wie bislang geplant, das Standardgas (25% Argon, 75% Isobutan) benutzt wird, enthält das System  $80\text{kg}$  brennbare Kohlenwasserstoffe [4]. Der gesamte restliche Detektor enthält eine vergleichsweise geringe Menge brennbarer Kohlenwasserstoffe ( $\approx 5\text{kg}$ ). Aus Sicherheitsgründen ist es erstrebenswert den Kohlenwasserstoffanteil im Gas der Streamerrohrkammern zu senken. Für einen Probetrieb bei offenem Detektor soll auf jeden Fall ein nichtbrennbares Gasgemisch verwendet werden.

Ein nicht brennbares Gasgemisch aus 10% Isobutan, 87.5%  $\text{CO}_2$  und 2.5% Argon ist für die Streamerrohre des SLD-Experiments am SLAC erfolgreich getestet worden [5]. Ziel der vorliegenden Arbeit war es zu überprüfen ob dieses Gasgemisch auch für die H1-Streamerrohre geeignet ist und ob sich der dabei auftretende erhöhte Anteil an Nachpulsen durch Zugabe von kleinen Mengen Freon reduzieren läßt. Letzteres ist mit zwei Freonkonzentrationen,  $50\text{ppm}$  und  $70\text{ppm}$ , getestet worden.

Der Test der verschiedenen Gasmischungen erfolgte mit kosmischen Myonen und die Auslese mit ultraschnellen Digital-zu-Analog-Wandlern (Flash-ADC). Der gesamte Aufbau ist in

Abschnitt 3 beschrieben. Diese Auslese hat den Vorteil, daß die Form der Streamerpulse bestimmt werden kann. Alle wesentlichen Parameter können aus diesen Meßdaten bestimmt werden. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Abschnitt 6 dargestellt. Eine Analyse der verwendeten Gasmischungen mit einem Quadrupolmassenspektrometer und ihre Ergebnisse sind in Abschnitt 4 beschrieben.

## Kapitel 2

# Der selbstlöschende Streamermodus

### 2.1 Funktionsweise von Drahtkammern

Drahtkammern bestehen im allgemeinen aus einem Gasvolumen, in dem ein oder mehrere Anodendrahte gespannt sind. Die Kathode wird von dem Behälter oder von Drähten zur Feldformung gebildet. Die zwischen Anode und Kathode angelegte Spannung beträgt einige  $kV$ . Durchquert ein geladenes Teilchen das Gasvolumen so ionisiert es dabei einige der Atome oder Moleküle aus dem das Gas besteht. Haben diese primären Elektronen genügend Energie, so können sie weitere Atome oder Moleküle ionisieren. Die notwendige Energie um ein Elektron-Ion-Paar zu erzeugen ist in Gaszählern ungefähr  $30eV$ .

Die Elektronen und Ionen werden durch das anliegende elektrische Feld getrennt und bewegen sich zur Anode bzw. Kathode. Im sehr hohen Feld unmittelbar am Anodendraht können die Elektronen zwischen den Zusammenstößen mit den Gasatomen oder Molekülen so viel Energie gewinnen, daß sie beim nächsten Stoß weitere Elektronen freisetzen. Es kommt zu einem lawinenartigen Anwachsen der Elektronen und Ionen. Durch die Bewegung der nun sehr großen Zahl von Ladungsträgern im elektrischen Feld entsteht ein Signal zwischen Anodendraht und Kathode, das zum Nachweis des Teilchens, das die primäre Ionisation verursacht hat, benutzt werden kann.

### 2.2 Ein Modell zur Entstehung von Streamerpulsen

Der Streamermechanismus ist z.Zt. nicht vollständig verstanden, d.h. es gibt kein Modell, das quantitative Vorhersagen über die wesentlichen Eigenschaften von Streamerpulsen macht. Im folgenden wird das qualitative Modell von M. Atac et al. vorgestellt [6].

Die durch die primäre Ionisation entstandenen Elektronen driften auf den Draht zu. In unmittelbarer Drahtnähe ( $\approx 100\mu m$  vor der Drahtoberfläche) setzt die Gasverstärkung ein. Die entstehende Elektronenlawine hat nach wenigen  $ns$  den Draht erreicht, während die Ionen sich sehr viel langsamer auf die Kathode zu bewegen. Bei hohen Gasverstärkungsfaktoren

kann die Raumladung durch die Ionen nicht vernachlässigt werden.

Die Raumladung führt zu einer Abschwächung des elektrischen Feldes im Bereich der Elektronenlawine und zu einer Verstärkung des Feldes zwischen der Raumladungszone und der Kathode. Das bedeutet, daß eine Gasverstärkung durch die Raumladung bereits in einem größeren Abstand vom Draht einsetzen kann. Durch die relativ hohe Konzentration an Ionen und Elektronen während der Lawinenentwicklung kommt es auch zu Rekombinationen:  $Ar^+ + e^- \rightarrow Ar^* + \gamma$ . Wenn die dabei produzierten Photonen eine kleine Reichweite haben, erzeugen diese durch den Photoeffekt in der Nähe der Raumladung neue freie Elektronen. Diese Elektronen werden durch das veränderte Feld nicht radial zum Draht, sondern zur Raumladung hingezogen. Die Gasverstärkung setzt schon bei einem größeren Abstand vom Draht ein und es kommt zu einer weiteren Elektronenlawine und einer vergrößerten Raumladungszone. Dieser Prozeß kann sich unter günstigen Bedingungen fortsetzen, bis der Streamer eine Länge von mehreren Millimetern hat [6]. Durch die hohe Eigendynamik die dieser Prozeß entwickelt, ist die erzeugte Streamer-Ladung nahezu unabhängig von der primären Ionisation.

Für die Entwicklung eines Streamerpulses ist es notwendig, daß die zuerst entstehende Ladungslawine eine ausreichende Raumladungsdichte erzeugt. Diese Raumladungsdichte ist von den Betriebsbedingungen der Streamerrohre und von der Dichte der primären Ionisation abhängig. Z.B. erreicht man mit einer  $^{55}Fe$   $\gamma$ -Quelle bei viel niedrigeren Betriebsspannung den Übergang in den Streamermodus als mit kosmischen Myonen, obwohl die Anzahl der primär erzeugten freien Elektronen etwa gleich ist [7].

Eine kleine Reichweite von fast allen Photonen läßt sich durch organische Zusätze im Gas des Zählrohres erreichen. Ihre komplizierte Struktur ermöglicht es diesen Stoffen, durch die Anregung von Schwingungen und Rotationen oder durch ihre Dissoziation, Photonen eines breiten Energiebandes zu absorbieren. Ein großer Anteil dieses sogenannten Löschgases führt also zum Streamermodus. Das *Standardgas* für Streamerrohre besteht aus 75% Isobutan und 25% Argon.

# Kapitel 3

## Meßapparatur

### 3.1 H1-Streamerrohre

Der Aufbau der H1-Streamerrohrelemente ist in Abbildung 3.1 gezeigt. Je zwei Achtfach-Profile und Deckel sind in einer gasdichten Box zu einem sogenannten Element zusammengefaßt. Die größten Teile der H1-Streamerrohrelemente sind die Gasbox, die Profile und die Deckel. Diese Teile sind aus LURANYL, einem halogenfreien und schwerentflammbaren Kunststoff, extrudiert. Die Verwendung von PVC-Kammern, wie sie in den meisten anderen Detektoren benutzt werden, kam aus Sicherheitsgründen nicht in Frage. Die Innenseiten von den Profilen und den Deckeln sind durch graphithaltigen Anstrich leitend.

Die einzelnen Rohre haben einen Querschnitt von  $9\text{mm} \times 9\text{mm}$ . Die Wände der Profile, die die Rohre unten und seitlich begrenzen, haben eine Stärke von  $1\text{mm}$ . Die gleiche Stärke haben die Deckel, die die Rohre nach oben begrenzen und die Wände der gasdichten Box. Im Zentrum jedes Rohres ist ein  $100\mu\text{m}$  dicker Draht aus versilbertem Kupfer-Beryllium gespannt. Die Drähte eines Profils sind an den Enden der Rohre an G10-Platinen gelötet. Durch Zentrierstücke werden die Drähte in der Mitte der Rohre fixiert. Die  $1.2\text{m}$  langen Testkammern haben je zwei Zentrierstücke pro Profil.

Mehrere Elemente werden auf ein  $1\text{mm}$  starkes Aluminiumblech geklebt und bilden eine Kammer. Die Oberseite dieser Kammern bildet eine kupferkaschierte Phenolpapierplatte, die mit dickem beidseitigem Klebeband befestigt wird. In die Kaschierung auf der Unterseite sind Elektroden gefräst. Die Kaschierung der Oberseite dient nur zur Abschirmung. Die Dicke des Phenolpapiers beträgt  $1.5\text{mm}$ , die Kupferauflagen haben eine Stärke von je  $35\mu\text{m}$ .

Um die Drähte direkt auslesen zu können, liegen die Kathoden, und nicht, wie üblich, die Drähte an Hochspannung. Die Kathode muß geschlossen sein. Jede freie Stelle führt zu starken Feldverformungen, da die Umgebung hinter der Kathode nicht auf Kathoden-, sondern auf Erdpotential liegt. Um eine geschlossene Beschichtung zu bekommen, muß das Profil ziemlich dick mit dem graphithaltigen leitenden Anstrich bestrichen oder bespritzt werden. Es hat daher einen Flächenwiderstand in der Größenordnung von  $10\text{k}\Omega/\square$ . Dieser Widerstand ist zu klein, um Pulse induktiv mit äußeren Elektroden, den Pads und Streifen, auslesen zu können.

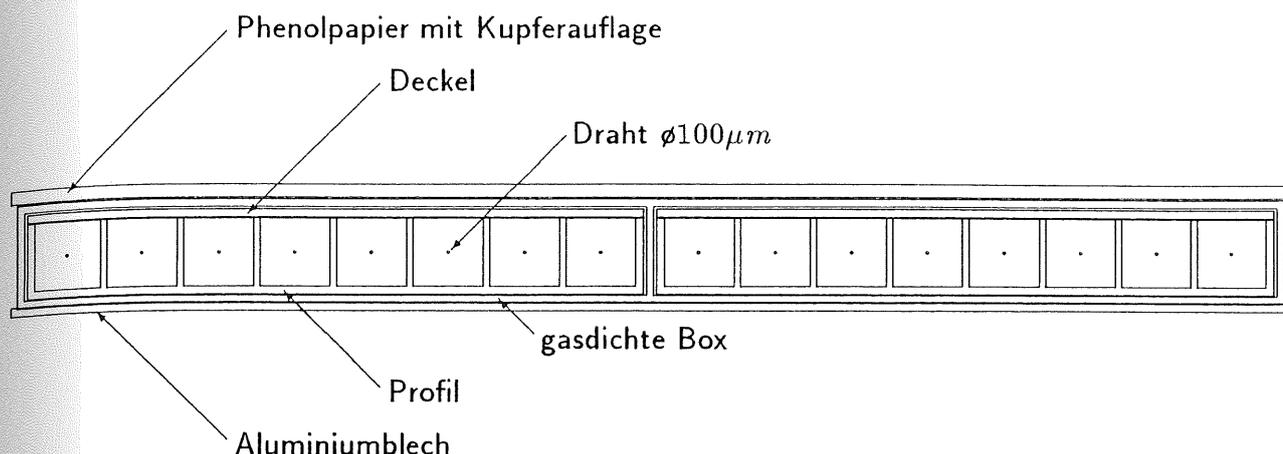


Abbildung 3.1: Querschnitt durch ein H1-Streamerrohr-Element in Originalgröße

Weil der Deckel flach ist, läßt sich die Graphitbeschichtung besser auftragen. Für die Serienproduktion wird ein Flächenwiderstand von  $3M\Omega/\square \pm 25\%$  angestrebt [2]. Flächenwiderstände, die größer als einige  $100k\Omega/\square$  sind, beeinflussen die auf den äußeren Elektroden induzierte Ladung nicht [8], [9]. Über die Betriebserfahrungen mit den ersten verfügbaren LURANYL-Kammern wird in Abschnitt 5 berichtet.

## 3.2 Trigger und Auslese

Die Eigenschaften der Streamerrohrkammern mit den verschiedenen Gasgemischen wurden mit kosmischen Myonen untersucht. Der Trigger bestand aus drei Szintillationszählern (Abbildung 3.2). Die Szintillatoren wurden mit Lichtleitern und Photomultipliern ausgelesen. Um nur auf minimalionisierende Teilchen zu triggern, lag unter der Kammer eine Lage 5cm dicker Bleiziegel. Die Signale der Triggerszintillatoren wurden über Diskriminatoren auf ein Und-Gatter gegeben (Abbildung 3.3).

Die größtmöglichen Winkel zwischen den Spuren und der Senkrechten zur Profilloberseite waren  $30^\circ$  in Drahrichtung und  $11^\circ$  senkrecht zur Drahrichtung. Die Streamerpulse sind zwar i. a. abhängig von diesen Winkeln, aber im H1-Detektor werden die Streamerrohre auch unter verschiedenen Winkeln durchquert. Die Rate der ausgelesenen Ereignisse lag bei etwa  $0.7Hz$ .

Die Drahtsignale der Streamerrohrkammern wurden über "twisted-pair" Kabel mit schnellen Analog-zu-Digital-Wandlern (Flash-ADC's) digitalisiert und über einen Camac-Bus von einem MacintoshII Rechner ausgelesen. Die Flash-ADC Einheiten (DL101) wurden von der Vertexkammer des JADE-Experiments übernommen.

Der Flash-ADC DL101 kann auf einen Camac-Befehl hin einen Puls ausgeben. Diese Möglichkeit wird genutzt, um durch den MacintoshII Rechner nach jedem ausgelesenen Ereignis die Ausleseelektronik neu zu aktivieren (Abbildung 3.3). Ist die Elektronik aktiviert und liegt

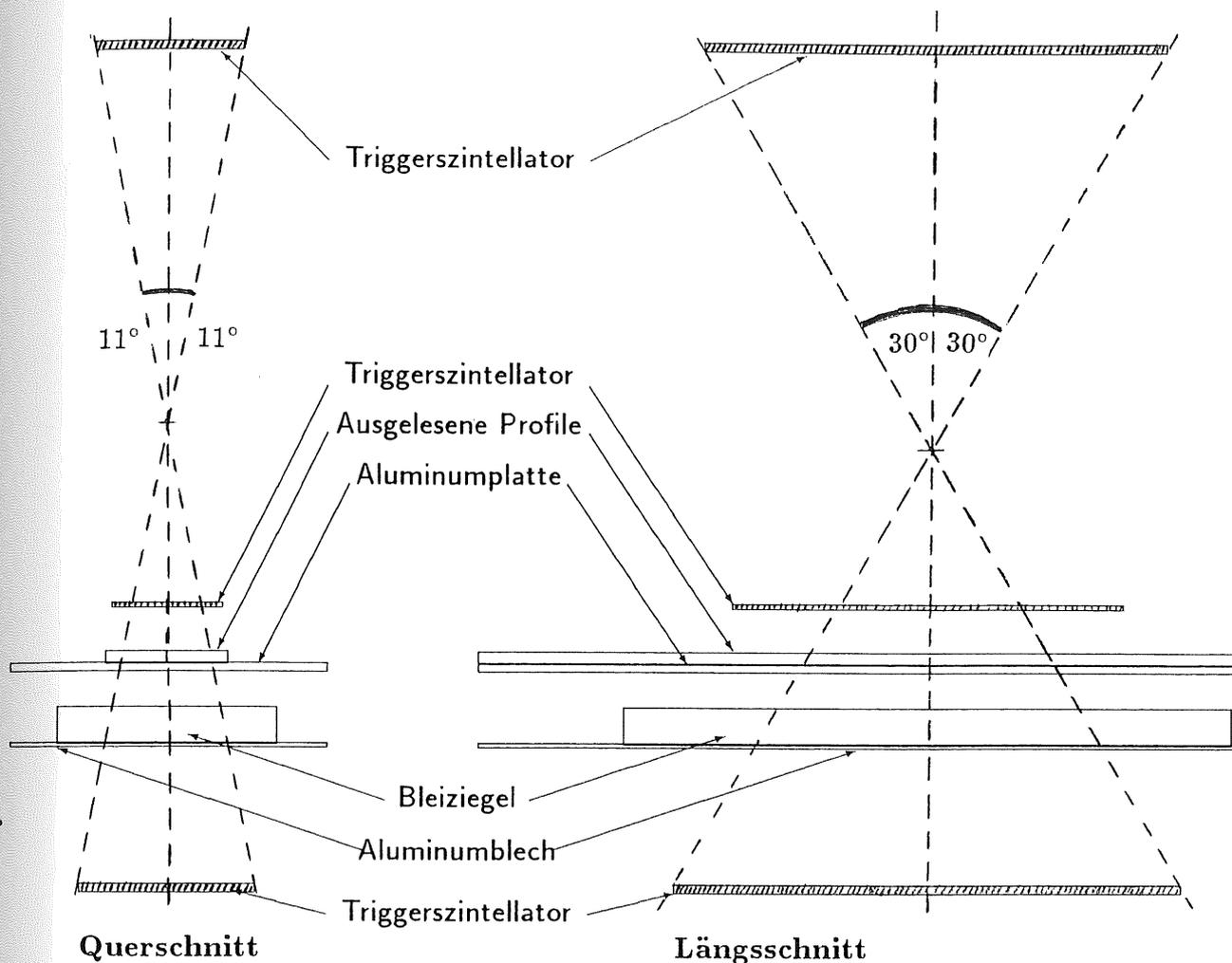


Abbildung 3.2: Querschnitt und Längsschnitt durch den Triggeraufbau, Maßstab 10:1

eine Koinzidenz aus den drei Triggersignalen vor, liefert ein Gategenerator ein Signal von  $3\mu\text{s}$  Länge. Ein Logic-Fan-In-Fan-Out startet mit diesem Signal die Flash-ADCs. Ferner setzt es den aktivierenden Gategenerator zurück, um zu verhindern, daß ein erneutes Starten der Auslese erfolgt, bevor der Rechner alle Daten ausgelesen hat. Die Bauteile für den Trigger waren in Form von LeCroy-Einschüben in einem NIM-Crate untergebracht.

Die Pulse von den Drähten wurden durch austauschbare Spannungsteiler, Transformatoren und  $30.5\text{m}$  Twisted-Pair-Kabel auf Flash-ADC's gegeben (Abbildung 3.4). Weil der dynamische Bereich der schnellen Analog-zu-Digital-Wandler zu klein war (6 bit linear) wurden austauschbare Spannungsteiler mit einem Teilungsverhältnis von 1:2.6, 1:4.3, 1:5.9, 1:9.5 und 1:12.3 verwendet. Die gesamte Ausleseketten wurde für alle Drähte und alle Teiler kalibriert. Dazu wurden Rechteckpulse gleichzeitig auf ein Oszilloskop und in die Ausleseketten gegeben. Die Fehler der Kalibration wurden im wesentlichen von der Ablesegenauigkeit auf dem Oszilloskop bestimmt und lagen bei  $\approx 2\%$ . Im Rahmen dieser Fehler zeigten die Flash-ADC's ein lineares Verhalten. Die Empfindlichkeit war für alle Flash-ADCs im Rahmen der Meßgenauigkeit gleich dem Sollwert, mit Ausnahme von vier Kanälen eines Moduls, deren Empfindlichkeit etwa 25% höher lag.

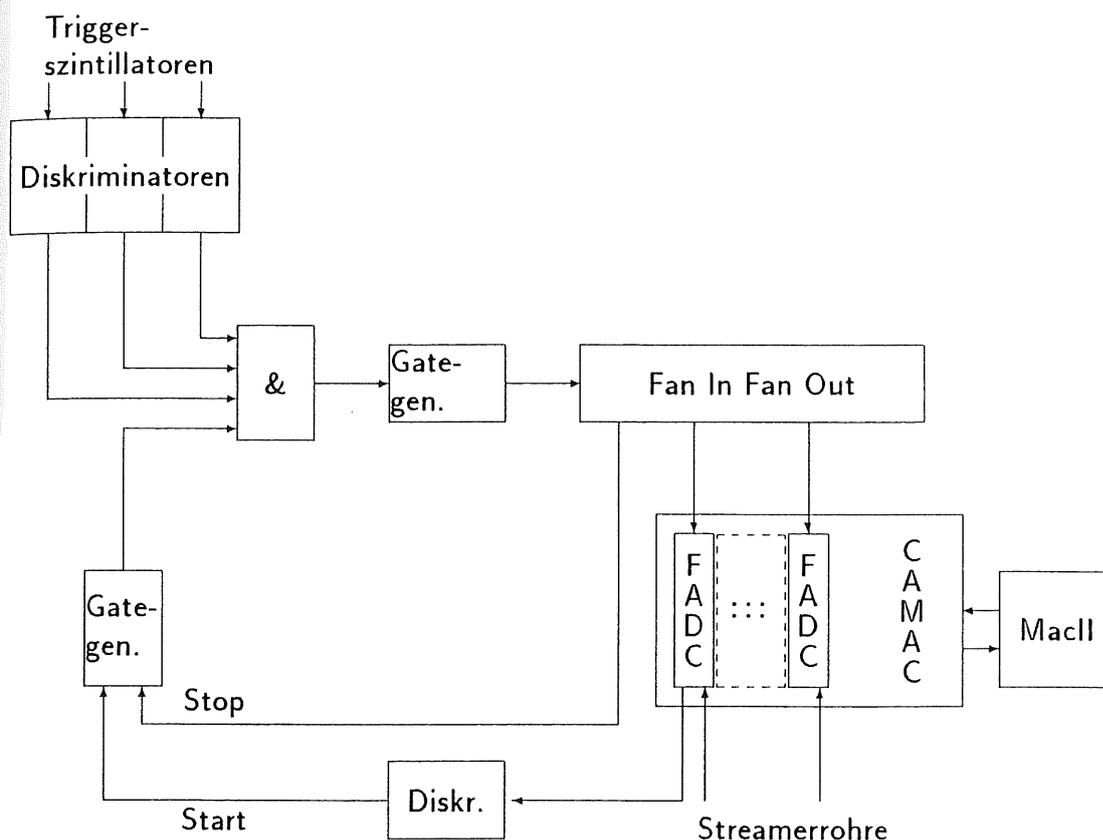


Abbildung 3.3: Blockschaltbild der Auslesesteuerrung

Die Flash-ADCs haben eine Abtastrate von  $100\text{MHz}$ . Es wird eine Zeitdauer von  $2.56\mu\text{s}$  abgetastet, aber um die Verarbeitung der Daten zu beschleunigen nur  $1.2\mu\text{s}$  vom Rechner ausgelesen.

### 3.3 Pulserkennung bei der Datennahme

Die Datenmenge wurde durch einen Pulsfindalgorithmus auf dem MacII sofort reduziert und die verbleibenden Daten auf Festplatte gespeichert. Der Pulsfindalgorithmus ist für die Vertexkammer im JADE-Experiment entwickelt worden [10].

Der Pulsfindalgorithmus verwendet für jeden Flash-ADC-Kanal folgende Schritte um Pulse zu finden und abzuspeichern:

- Die Differenz zwischen dem größten und kleinsten Eintrag muß größer als 4 Schritte sein, sonst wird die weitere Suche für diesen Kanal abgebrochen.
- Das Pedestal wird aus den Zeitscheiben gemittelt, deren Pulshöhen  $h_i$  sich um höchstens zwei Schritte von der Vorhergehenden  $h_{i-1}$  unterscheiden und dieser Vorgänger  $h_{i-1}$  sich höchstens um zwei Schritte von der nachfolgenden Pulshöhe  $h_{i+1}$  unterscheidet.

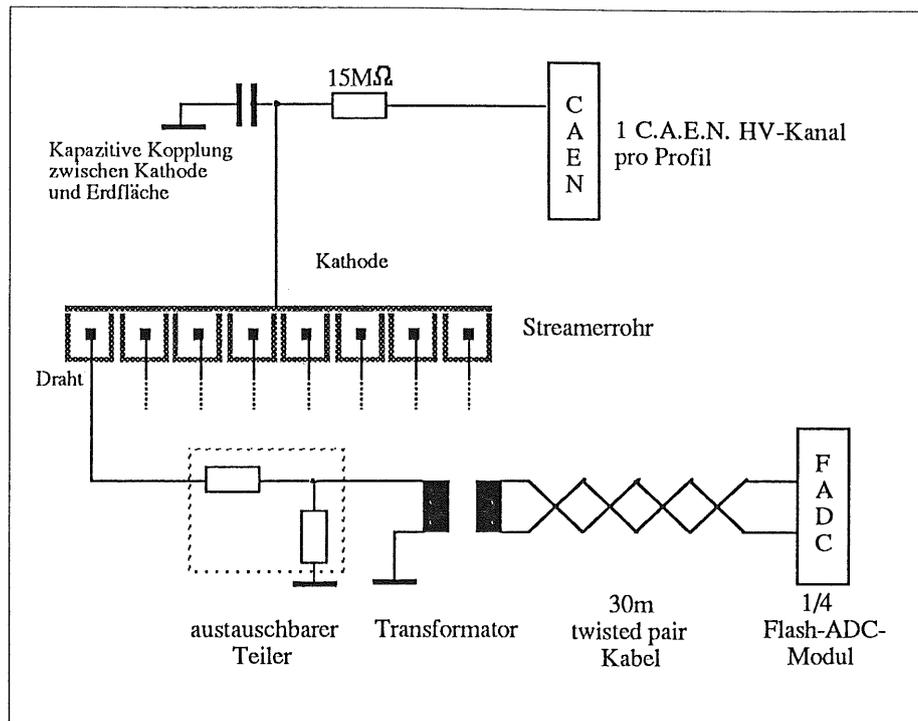


Abbildung 3.4: Schaltbild für die Auslese der Drähte und die Hochspannungsversorgung

- Ein Pulsanfang wird gefunden, wenn von zwei aufeinanderfolgenden Werten einer mindestens 5 und einer mindestens 4 Schritte größer als der gerundete Pedestalwert ist.
- Das Pulsende wird gefunden, wenn der Meßwert bis auf einen Schritt gleich dem Pedestal ist.
- Der Bereich zwischen Pulsbeginn und Pulsende, der Zeitpunkt des Pulsbeginns und das Pedestal werden abgespeichert.

Der Pulsfinder markiert außerdem noch Doppelpulse. Diese Markierungen wurden später aber nicht benutzt, weil die Bedingungen die einen Doppelpuls definieren in Flash-ADC-Schritten implementiert waren, und deshalb, bei verschiedenen Teilern, unterschiedlichen Pulshöhendifferenzen entsprachen.

In Abbildung 3.5 ist der Teil eines Pulses, der abgespeichert worden ist, gepunktet dargestellt und der vom Pulsfinder ermittelte Grundwert als gestrichelte Linie angedeutet.

Der Pulsfinder bewirkte eine Reduktion der Datenmenge von etwa  $3kByte$  auf etwa  $100Byte$  pro ausgelesenem Ereignis. Nach der Messung wurden die Daten auf die DESY-IBM überspielt, wo die Auswertung erfolgte.

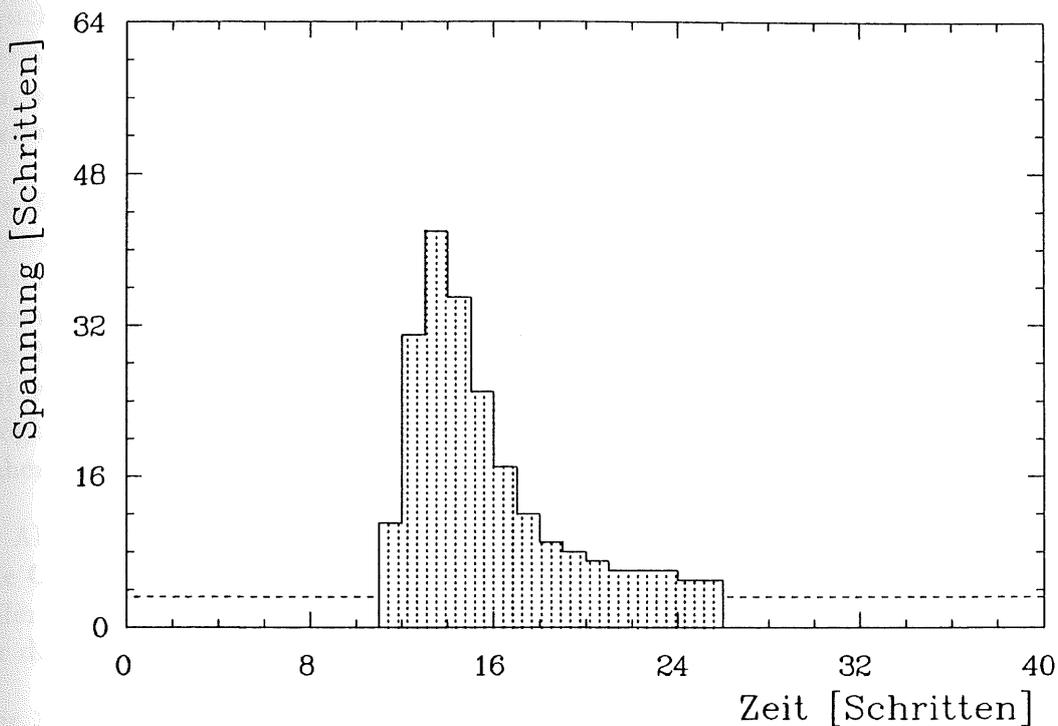


Abbildung 3.5: Puls und Pedestal bestimmt durch den Pulsfindalgorithmus während der Datennahme

### 3.4 Hochspannungsversorgung

Zur Versorgung der Streamerrohre mit Hochspannung wurde ein *C.A.E.N. SY127* Überrahmen und ein Einschub mit vier Ausgängen benutzt. Jeder Ausgang liefert eine Spannung von bis zu  $-6000V$  und einen Strom von bis zu  $200\mu A$ . Das HV-System bietet eine Strombegrenzung, eine automatische Abschaltung einzelner Ausgänge und definierte Geschwindigkeiten für das Herauf- und Herunterfahren der Spannung. Die Spannung wird im Einschub auf  $2V$  genau gemessen und geregelt. Der Strom wird auf  $0.1\mu A$  genau gemessen. Der maximale Strom war für alle Messungen auf  $0.2\mu A$  eingestellt. Die Zeitdauer, nach der sich ein Kanal abschaltet falls der Spannungswert nicht erreicht wird, betrug eine Minute.

Die zwei benutzten Profile wurden über zwei  $15M\Omega$  Widerstände an zwei Kanäle des HV-Systems angeschlossen (Abbildung 3.4). Die Masse des HV-Systems wurde mit der Abschirmung der Streamerrohre verbunden. Die Drähte lagen über die Widerstände des Teilers ( $160\Omega \leq R \leq 240\Omega$ ) auf Massepotential. Der Widerstand des Transformators ( $R \approx 2\Omega$ ) ist vernachlässigbar.

### 3.5 Gasmischanlage

Die Gase für die Streamerrohre wurden aus Isobutan und Argon oder aus Isobutan und einem Mischgas aus Kohlendioxid, Argon und evtl. dem Freonzusatz gemischt. Die Mischgase wur-

den von der DESY-Gasgruppe bezogen. Die Füllmenge der Flaschen richtet sich nach dem Druck, der die erste Komponente verflüssigen würde. Wegen der sehr geringen Füllmenge, die Gemische mit Isobutan erfordern, ist es nicht sinnvoll vollständig vorgemischte Gasmischungen zu verwenden. Mit einer Mischgasflasche (Füllmenge 40l bei 32bar) war es bei einem Gasverbrauch von 5l/h möglich, die Streamerrohre 10 Tage zu betreiben.

Die Mischgase wurden von der DESY-Gasgruppe nach folgenden Verfahren hergestellt: Jede Komponente wird in die Druckflasche mit dem Druck eingelassen, der beim Enddruck ihrem Anteil entspricht. Die jeweiligen Druckwerte sind aus Tabellen entnommen worden. Bei diesen Verfahren werden die Komponenten mit dem kleinsten Anteil zuerst eingefüllt. Bei den Freonanteilen von 50ppm bzw. 75ppm beträgt der Druck mit dem die Flasche zunächst mit Freon gefüllt wird 1 – 2mbar bei einem Gesamtdruck des Mischgases von 32bar. Die Möglichkeiten der Anlage zur Herstellung von Mischgasen sind wegen diesem geringen Druck nahezu ausgereizt.

In Abbildung 3.6 ist die komplette Schaltung der verwendeten Gasmischanlage dargestellt. Die Gasmischanlage wurde für den Serientest von Streamerrohren ausgelegt, und hat 2 Verteiler mit je 5 Anschlüssen für Streamerrohrebenen. Von den Anschlüssen wurde nur einer für die Testprofile benutzt.

Der Fluß der verschiedenen Gase wurde mit Schwebkörperflußmessern und Nadelventilen eingestellt. Nur bei den nichtbrennbaren Gasen mußte der Isobutananteil mit einem elektronischen Durchflußregler eingestellt werden, weil sich ein Durchfluß von ca. 0.5l/h mit den Nadelventilen nicht stabil einstellen ließ. Die Flußmesser und der Durchflußregler wurden für die entsprechenden Gase kalibriert. Die Schwebkörperflußmesser sind mit einer Genauigkeit von etwa 1% ablesbar. Über die Abhängigkeit der Schwebkörperflußmesser und des Durchflußreglers von der Temperatur, dem Gasdruck auf der Ein- und der Auslaß-Seite usw. ist nichts bekannt.

Die Gasmischanlage hat Sicherheitsventile am Ausgang des Mischers und am Argon-Spülgaszweig. Diese waren auf 50hPa eingestellt und haben die Streamerrohre vor allem gegen Fehlbedienungen am Gassystem geschützt. Grobe Flußmesser am Ausgang der Verteiler und der Sicherheitsventile zeigen das Ansprechen der Sicherheitsventile oder den normalen Fluß an.

Da relativ kleine Gasflüsse verwendet wurden, war der Druckunterschied zwischen Ein- und Auslaß-Seite nur ca. 3hPa. Der Gasauslaß erfolgte über eine Blubberflasche mit Silikonöl, um das Eindringen von Luft zu verhindern und eine Kontrolle über den austretenden Gasstrom zu haben. Der größte Teil der Druckdifferenz ist auf die Blubberflasche zurückzuführen. Deshalb war das Manometer zum Anzeigen des Kammerdruckes für alle Messungen so geschaltet, daß es den Druck auf der Einlaß-Seite und nicht den Druck hinter den Blubberflaschen anzeigt.

Da bei PVC-Schläuchen festgestellt wurde, daß das Isobutan den Weichmacher herauslöst [11], wurden nur Schläuche aus Polyäthylen benutzt um die Streamerrohre mit dem Gasmischer zu verbinden. Eine weitere Quelle von Verunreinigungen könnten die ursprünglichen Gase sein, die zusammengemischt wurden.

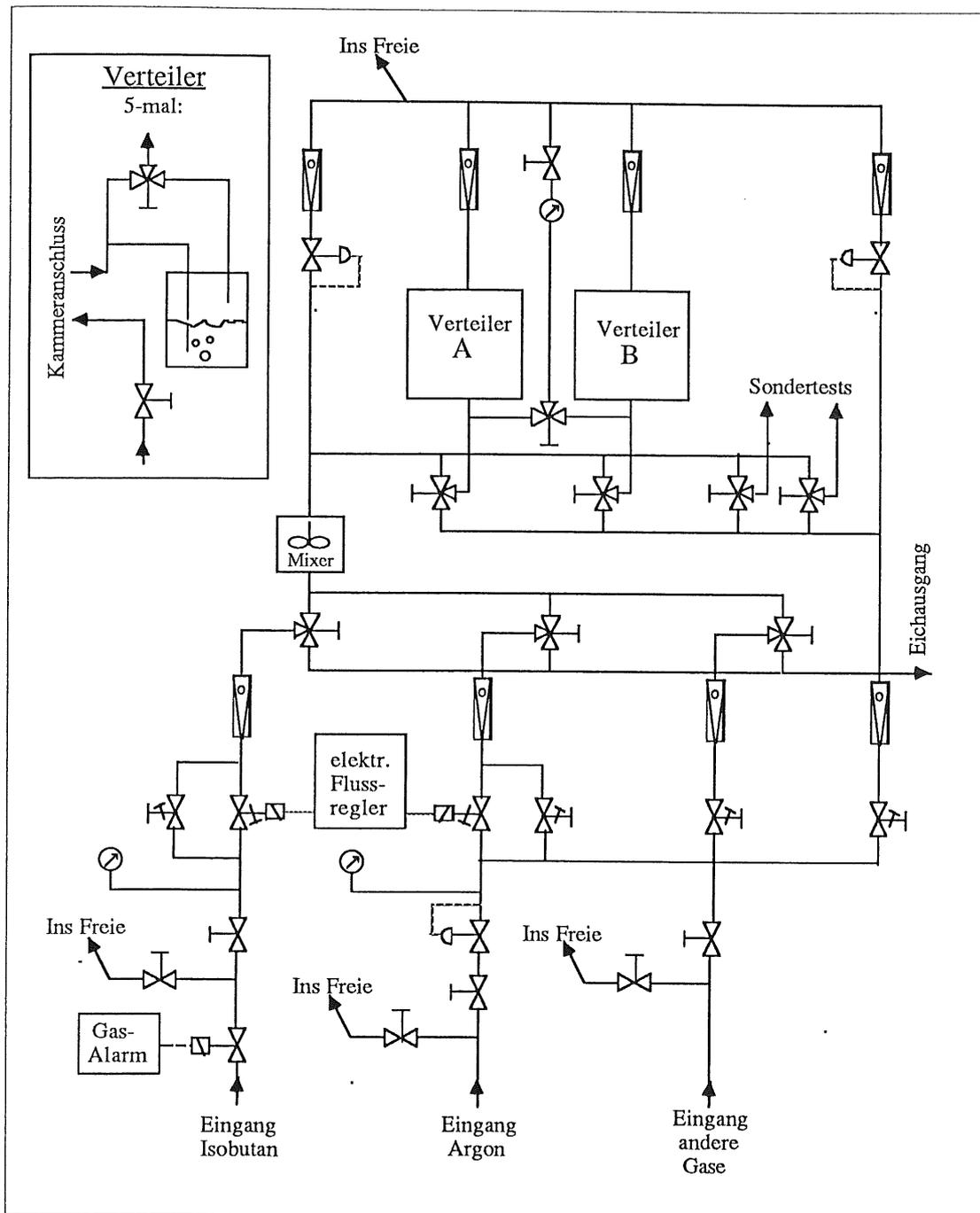


Abbildung 3.6: Schaltbild der verwendeten Gasmischanlage

Nach Herstellerangaben hatten die verwendeten Gase folgende Reinheitsgrade:

- Argon: 99.998%
- Isobutan: 99.5%
- Kohlendioxid: 99.5%

Im nächsten Abschnitt wird die Analyse von Gasproben, die vor und hinter der Streamerrohrkammer aus dem Gasstrom gezogen wurden, beschrieben. Dabei wird sowohl auf mögliche

Verunreinigungen als auch auf die Zusammensetzung der Komponenten eingegangen.

# Kapitel 4

## Gasanalyse

### 4.1 Ziel der Gasanalyse

Das Freon ist dem Gasgemisch aus Argon und Kohlendioxid in einer Menge von 50 bzw. 75 ppm beigemischt. Allein die angegebenen Fehler der Gasmischanlage machen bei diesen kleinen Mengen etwa 6% aus. Außerdem kann sich Freon an geeigneten Oberflächen anlagern; besonders die Graphitbeschichtung des Profils kommt dafür in Frage.

Die Gasanalyse hat also folgende Fragen zu klären:

- Ist das Freon von Anfang an in voller Menge im Gasgemisch vorhanden oder müssen erst Oberflächen in der Gasanlage oder der Kammer selbst gesättigt werden?
- Stimmt die tatsächliche Konzentration von Freon mit der angeforderten überein?
- Stimmen die Konzentrationen der übrigen Gaskomponenten mit ihren Sollwerten überein?
- Gibt es Verunreinigungen des Kammergases durch Luft, Lösungsmittel oder Weichmacher?

### 4.2 Aufbau

#### 4.2.1 Massenspektrometrie

Die Massenspektrometrie bietet die Möglichkeit, alle Bestandteile einer Probe mit einem Massenspektrum zu erfassen. Die Grenzen der Auflösung sind allerdings stark vom Typ des Massenspektrometers abhängig. Alle möglichen Verunreinigungen können gesehen werden, falls sie nicht von größeren Beiträgen der Gaskomponenten überdeckt werden.

Ein weiterer Grund für die Massenspektrometrie war, daß die Proton-Vakuum-Gruppe von DESY ein Lecksuch-Quadrupolmassenspektrometer und viele andere Teile für die Gasanalyse

zur Verfügung gestellt hatte.

Bei den Messungen traten folgende Schwierigkeiten auf:

**Die Sauberkeit der Apparatur:** Da die Apparatur aus benutzten Teilen zusammengesetzt worden war und die Werkstatt, in der einige Teile gefertigt wurden, absolut kein Reinraum war, war die Sauberkeit nicht ausreichend. Der Untergrund von Kohlenwasserstoffen lag wesentlich höher (ungefähr Faktor 10) als das erwartete Freosignal. Die gesamte Apparatur ist daher komplett zerlegt, gereinigt und so wieder aufgebaut worden, daß das Ausheizen bis auf  $100^{\circ}\text{C}$  möglich war. Erst tagelanges Heizen und Pumpen mit einer extra dafür aus dem Fortgeschrittenen Praktikum entliehenen Turbomolekularpumpe haben den Untergrund deutlich unter das Signal gedrückt.

**Undichtigkeiten:** Durch die Hilfe der auf Lecksuche spezialisierten Vakuumgruppe konnten die vorhandenen Undichtigkeiten relativ schnell gefunden werden.

**Verstopfung eines Rohres:** Eines der Rohre, die die Schleuse und den Kessel verbinden war durch einen Lötklumpen verstopft. Die Gasprobe sickerte langsam von der Schleuse zum Kessel (Abbildung 4.2 Teile (3) und (4)). Erst nach der Beseitigung des Hindernisses waren die Meßergebnisse reproduzierbar.

## 4.2.2 Das Quadrupolmassenspektrometer

Das Quadrupolmassenspektrometer besteht aus einer Ionenquelle, einem Stabsystem und einem Auffänger. Die in der Ionenquelle befindlichen Moleküle werden durch Elektronenstoß ionisiert (Abbildung 4.1). Das verwendete QMG 112 von Balzers benutzt Elektronen mit  $70\text{eV}$  Energie. Es entstehen hauptsächlich positive Ionen, bei mehratomigen Molekülen auch Molekülbruchstücke und deren Ionen.

Beim Quadrupolmassenspektrometer erfolgt die Massentrennung durch Anregung von Ionenschwingungen in einem elektrischen Quadrupolfeld, das durch vier Stabelektroden erzeugt wird. Die Spannung, die an den Elektroden angelegt wird, hat die Form  $U + V\cos(\omega t)$ . Die zu trennenden Ionen treten in Richtung der Längsachse in das Feld ein. Durch das hochfrequente Feld führen die Ionen eine Schwingung senkrecht zur Längsachse aus. Bei gegebenen Feldgrößen und gegebener Geometrie hängt die Schwingung nur noch vom Massen- zu-Ladungs-Verhältnis ab. Weil die überwiegende Menge der erzeugten Ionen eine Ladung von  $1e$  besitzt spricht man häufig auch nur von der Massenabhängigkeit. Nur für Ionen eines Massenbereichs erhält man begrenzte Schwingungsamplituden. Diese Ionen können das Quadrupolfeld passieren falls ihre Amplitude kleiner als das Stabsystem bleibt. Die Amplituden der übrigen Ionen wachsen sehr rasch an, die Ionen treffen auf die Stäbe oder die Gehäusewände und werden so ausgefiltert [13].

## 4.2.3 Der Gaseinlaß

Weil Massenspektrometer nur bei einem Druck von höchstens  $10^{-4}\text{hpa}$  betrieben werden können und die Kammergase bei Normaldruck vorliegen, ist ein Gaseinlaß mit einer Druckreduk-

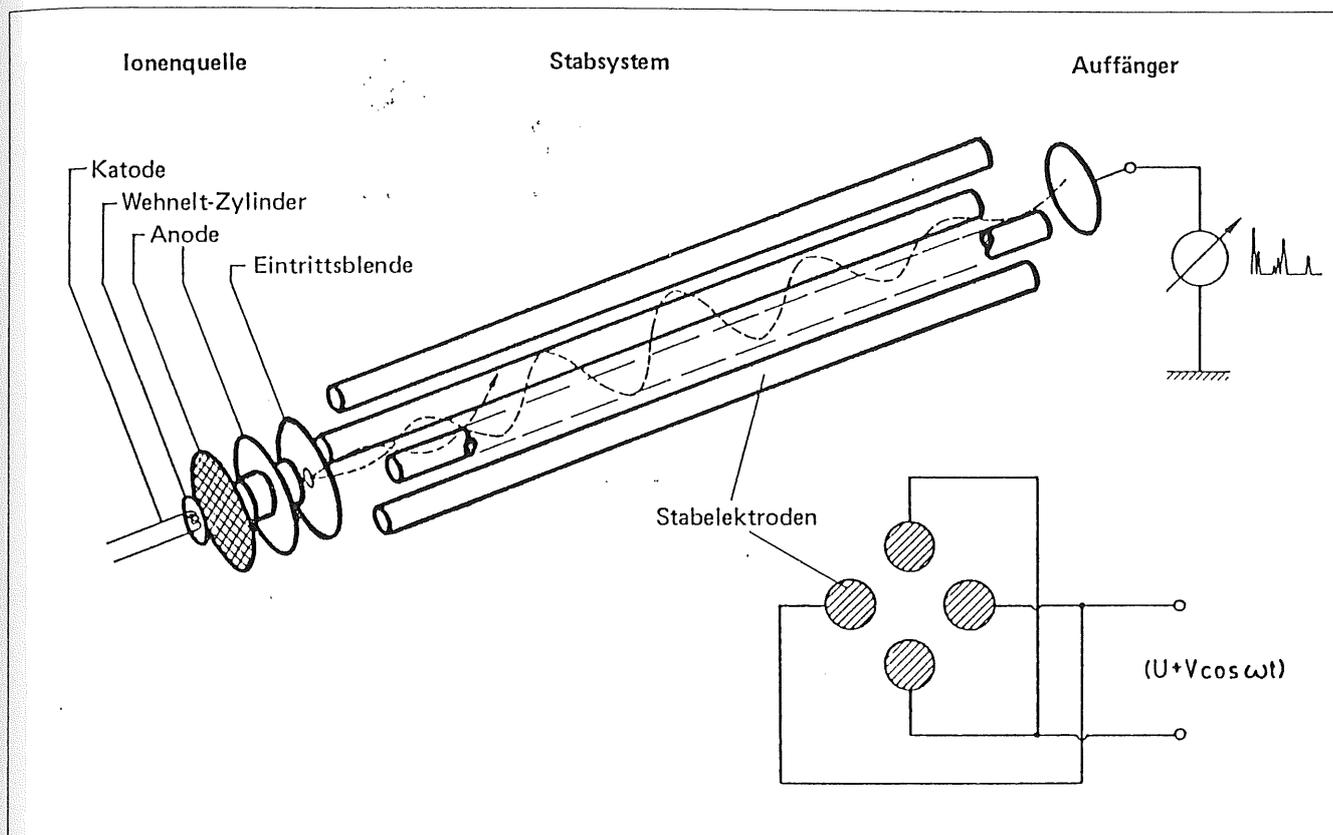


Abbildung 4.1: Schematischer Aufbau des QMA 112 [12]

tion um mehrere Größenordnungen erforderlich. Dabei darf sich die Gaszusammensetzung d.h. die Konzentrationen der Einzelkomponenten nicht ändern (Entmischungsfreiheit).

Der verwendete Gaseinlaß (Abbildung 4.2) arbeitet in zwei Stufen. Die erste Stufe besteht aus einem Expansionskessel (4) und einer Schleuse (3), die zweite aus einem Metallschneidenventil (5). Besser als ein Ventil ist eine Blende; die war aber nicht vorhanden. Mit der ersten Stufe wird der Druck auf etwa  $1\text{ hpa}$  reduziert und weil der Vorgang des Expandierens quasi statisch verläuft, kann keine Entmischung stattfinden [14].

Die Ionen im Massenspektrometer müssen große mittlere freie Weglängen haben, damit sie die Ionenoptik durchfliegen können ohne sich gegenseitig zu stören (molekulare Strömung). Weil sich die Moleküle, wie die Ionen, gegenseitig kaum beeinflussen, ist die Wahrscheinlichkeit, daß sie die Turbomolekularpumpe (8) treffen umgekehrt proportional zur Geschwindigkeit. Die mittlere Geschwindigkeit eines Moleküls ist proportional zu  $1/\sqrt{m}$ , also massenabhängig. Die zweite Stufe des Gaseinlasses muß die gleiche Massenabhängigkeit wie die Pumpe haben, damit die Gaszusammensetzung im Massenspektrometer mit derjenigen der Probe übereinstimmt. Eine Blende oder ein Ventil mit blendenähnlicher Geometrie haben die gleiche Massenabhängigkeit, falls der Blendendurchmesser kleiner als die mittlere freie Weglänge ist.

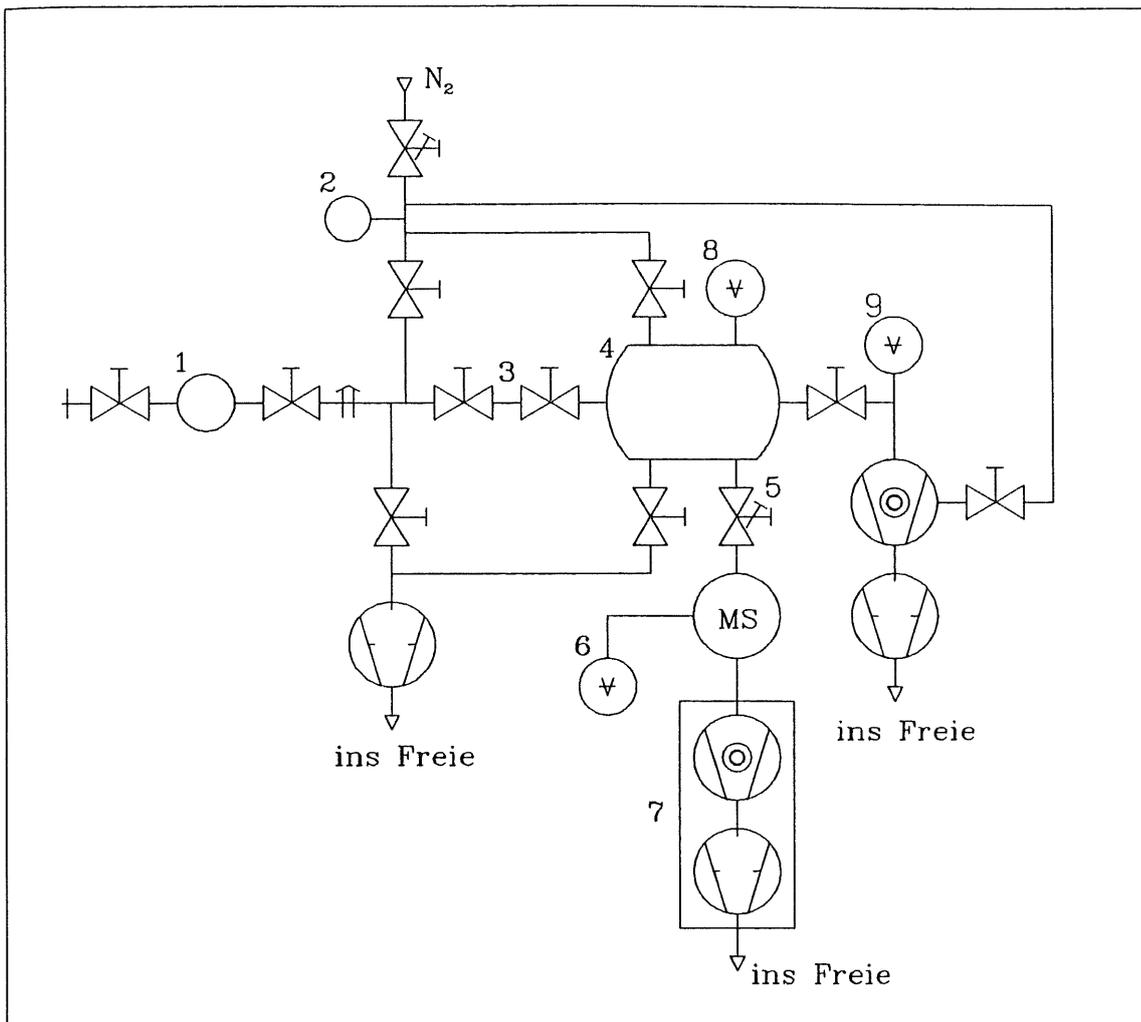


Abbildung 4.2: 1: Probenkugel mit Ventilen, 2: Ballon, 3: Schleuse, 4: Expansionskessel, 5: Metallschneidventil, 6: Penningmanometer, 7: automatischer Pumpstand, 8: Thermotronmanometer, 9: Penningmanometer

#### 4.2.4 Auswertung der Massenspektren

In Abbildung 4.3 ist das Massenspektrum von nichtbrennbarem Gas mit 70ppm Freon 114 dargestellt. Das Formular ist im Original A4-Format. Die Anteile der einzelnen Komponenten sind aus der Höhe der einzelnen Peaks abzulesen. Um alle Komponenten messen zu können, war es notwendig, den Vorverstärker des Ionenfängers mehrmals umzuschalten. Nach dem Abpumpen der Probe ist das Massenspektrum noch einmal zur Bestimmung des Untergrundes abgefahren worden. Dieser Untergrund ergibt ein Maß für die Sauberkeit der Apparatur. Im Original ist der Untergrund durch eine andere Farbe gekennzeichnet. Im Untergrund sind nur die *HCl*-Peaks bei  $m/e = 35$  und  $36$  deutlich zu sehen (Meßbereich  $10^{-12} A$ ). Sie stammen von den Freon-Reingasmessungen zur Kalibration. Beim Cracken von Freon 114

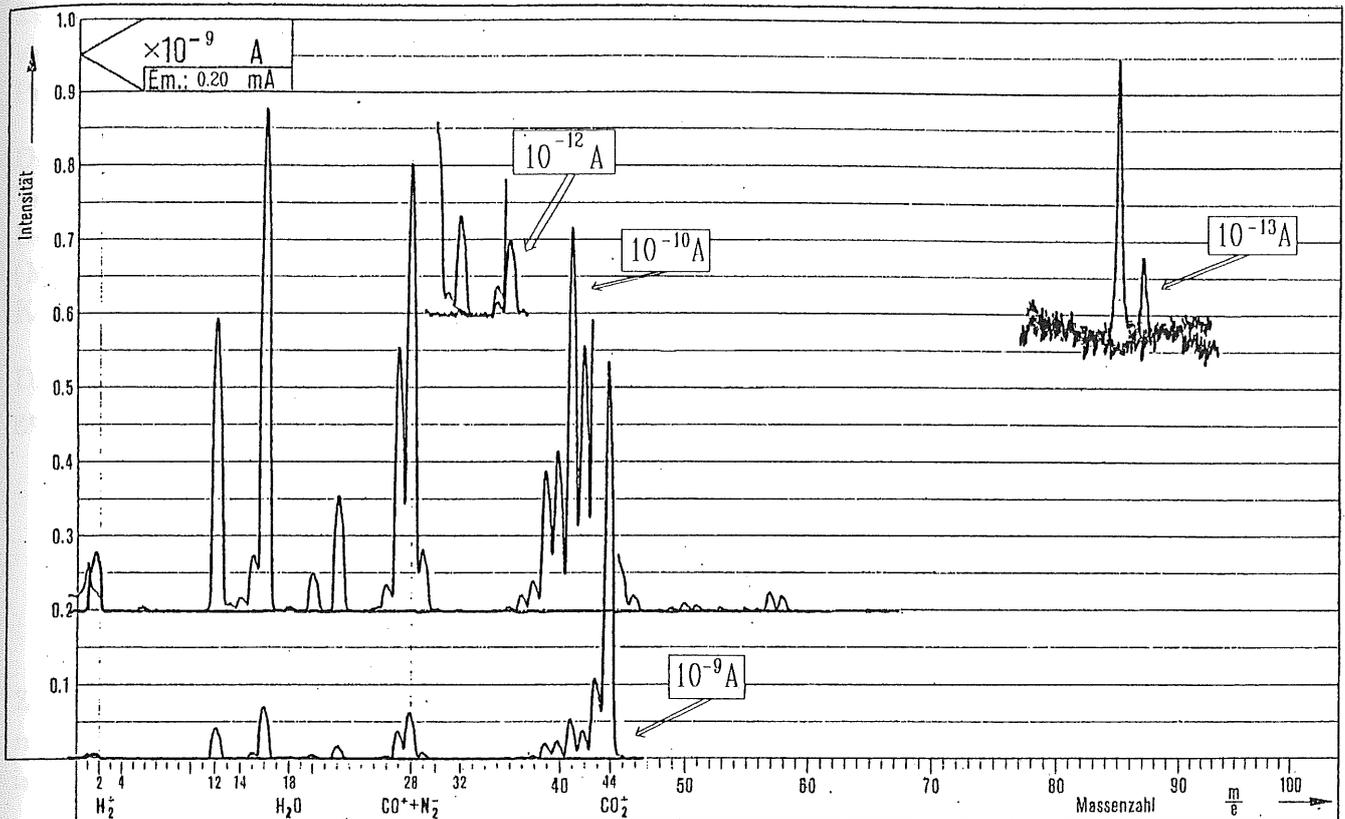


Abbildung 4.3: Massespektrum des nichtbrennbaren Gases mit 70ppm Freon (87.5%  $CO_2$ , 10% Isobutan, 2.5% Argon, 70ppm Freon 114). Der Druck im Quadrupolmassenspektrometer betrug  $2.5 \cdot 10^{-5} hPa$ .

entsteht unter anderen Chlor und Chlorionen. Diese reagieren mit der Wasserschicht, die immer auf den Wänden von Vakuumapparaturen sitzt, zu Salzsäure. Die Salzsäure bildet einen hartnäckigen Untergrund. Der Wasser-Peak ist bei  $m/e = 18$  auch noch ansatzweise zu erkennen (Meßbereich bis  $10^{-10} A$ ).

Glücklicherweise war der empfindlichste Meßbereich, mit einem Vollausschlag von  $10^{-13} A$  gerade der richtige für den Freon 114 Anteil von  $\approx 100 ppm$  (Hauptpeak bei  $m/e = 85$ ). Eine weitere Erhöhung der Verstärkung hätte aber ohnehin keinen Sinn gehabt, weil das Signal-zu-Rausch-Verhältnis schon bei  $\approx 1 : 10$  lag und die Stabilität des Vorverstärkers auch schon zu wünschen übrig ließ. Zur Verbesserung der Auflösung ist dieser Teil des Massenspektrums bei den meisten Proben mehrfach abgefahren worden.

Der Druck der Probe im Massenspektrometer betrug  $2.5 \cdot 10^{-5} hPa$ . Das Signal- zu Rausch-Verhältnis hätte durch eine Erhöhung des Druckes noch verbessert werden können, denn Quadrupolmassenspektrometer lassen sich bis zu einem Druck von  $10^{-4} hPa$  noch betreiben [15]. Dieses wäre aber zu Lasten der Linearität gegangen und hätte die Lebensdauer der Elektronenquelle reduziert. Eine andere Methode, die Auflösung zu verbessern, ist die Erhöhung des Emissionsstroms. Aber auch ein höherer Emissionsstrom führt zu den oben genannten Nachteilen.

Zur Bestimmung vom Kohlendioxidanteil wurde der Peak mit  $m/e = 44$  im  $10^{-9}A$  Meßbereich verwendet. Die Argon- und Isobutananteile wurden mit dem Meßbereich bis  $10^{-10}A$  aus den Peaks mit  $m/e = 40$  bzw. 42 bestimmt.

Die Suche nach Luft-Peaks ist dadurch erschwert, daß alle großen Luft-Peaks bei  $m/e$ -Verhältnissen von 32, 28, 16 und 14 bereits von Peaks der Gaskomponenten besetzt sind. Der einzige Peak, der wenigstens eine obere Grenze des Luftanteils angibt, liegt bei  $m/e = 32$  (Meßbereich:  $10^{-12}A$ ). Er setzt sich zusammen aus den  $O_2^+$ -Peak der Luft und dem vom Kohlendioxid.

Die größten  $m/e$ -Verhältnisse zu denen ein Gas beitragen kann, ist durch seine Molekülmasse gegeben. Die Molekülmassen der untersuchten Gase sind:

Kohlendioxid:	44
Isobutan:	58
Argon:	40
Freon 114:	170, 172 oder 174, wegen Cl-Isotopen

Zur Suche nach weiteren Verunreinigungen ist bei anderen Messungen der Bereich zwischen  $m/e = 59$  und  $m/e = 100$  mit der größten Empfindlichkeit abgefahren worden. Außer Freon ist bei den Messungen nach der Reinigung nichts gefunden worden.

#### 4.2.5 Kalibration

Das Massenspektrometer muß für jedes Gas, das quantitativ bestimmt werden soll, kalibriert werden [15]. Die Kalibration erfolgte durch Bestimmung des Empfindlichkeitsverhältnisses von einem charakteristischen Peak des nachzuweisenden Gases zu dem  $28u$  Peak von Stickstoff. Deshalb wurden die Proben der reinen Gase mit einer definierten Menge Stickstoff versetzt. Die Mengenverhältnisse ergeben sich durch die Anzahl der Schleusen die in den Kessel expandiert wurden und dem Druck der Probe. Der Druck vom Stickstoff ist wegen des Ballons (2) immer Normaldruck.

Die Proben von Kohlendioxid, Isobutan und Argon wurden aus den Druckflaschen in Probenkugeln gefüllt, die von Freon wurde direkt aus der Druckflasche in die Apparatur gegeben. Die Druckbestimmung erfolgte beim Freon mit einem Manometer, bei den übrigen Proben war der Druck in der Probenkugel der Luftdruck und reduzierte sich beim Füllen von Leitungen und Schleuse auf 88% davon.

Bei der Kalibration von Kohlendioxid mußte berücksichtigt werden, daß Kohlendioxid einen Beitrag zur Masse  $28u$  liefert (beim Cracken von  $CO_2$  entsteht auch  $CO^+$ ). Da dieser Beitrag nur etwa 7% des  $N_2$  ausmacht, ist die Korrektur unkritisch.

Bei den Messungen der selbstgemischten Gasproben treten viel grössere Schwankungen auf als bei der Messungen der Probengase. Dies ist aus den statistischen Fehlern in Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2 zu entnehmen. Das ist wahrscheinlich auf Fehler beim Mischen der Reingase mit Stickstoff zurückzuführen. Für genauere Messungen wären vorgemischte Vergleichsproben erforderlich.

Gas	Ausgewerteter Peak	Empfindlichkeit <sup>1</sup>
Freon114	85u	0.540 ±0.041
Argon	40u	1.13 ±0.047
Isobutan	42u	0.445 ±0.038
Kohlendioxid	44u	0.873 ±0.042

Tabelle 4.1: Ergebnisse der Kalibration: Mittelwerte aller Messungen der selbstgemischten Eichgase aus Stickstoff und dem jeweiligen Gas

### 4.3 Ergebnis der Gasanalyse

**Standardgas:** Das Verhältnis von Argon zu Isobutan stimmt im Rahmen der Meßgenauig-

<sup>1</sup> Normiert auf die Empfindlichkeit des N<sub>2</sub> Peak mit der Masse 28u

Standardgas				
Gas	Sollwert	Meßwert	System. Fehler	Stat. Fehler
Isobutan	0.750	0.755	0.018	0.004
Argon	0.250	0.245	0.018	0.004
Nichtbrennbares Gas ohne Freon				
Gas	Sollwert	Meßwert	System. Fehler	Stat. Fehler
Kohlendioxid	0.875	0.862	0.010	0.001
Isobutan	0.100	0.113	0.010	0.001
Argon	0.025	0.0245	0.0014	0.0005
Nichtbrennbares Gas mit 50ppm Freon				
Gas	Sollwert	Meßwert	System. Fehler	Stat. Fehler
Kohlendioxid	0.875	0.862	0.010	0.002
Isobutan	0.100	0.113	0.010	0.001
Argon	0.025	0.0255	0.0015	0.0005
Freon114	45ppm	80ppm	7ppm	5ppm
Nichtbrennbares Gas mit 70ppm Freon				
Gas	Sollwert	Meßwert	System. Fehler	Stat. Fehler
Kohlendioxid	0.875	0.864	0.010	0.001
Isobutan	0.100	0.112	0.010	0.001
Argon	0.025	0.0240	0.0014	0.0005
Freon114	68ppm	92ppm	9ppm	4ppm

Tabelle 4.2: Ergebnisse der Gasanalysen: Die Meßwerte sind Mittelwerte aller Messungen. Die systematischen Fehler stammen von den Kalibrationswerten, die statistischen Fehler sind die Ablesefehler

keit mit dem Sollwert überein. Die einzige Verunreinigung, die gefunden wurde, ist etwa  $50\text{ppm}$  Sauerstoff. Der Sauerstoff kann durch das Isobutan, Reinheitsgrad 99.5%, oder durch ein Leck der Gasmischanlage in das Kammergas gelangt sein. Diese Verunreinigung könnte aber auch von ungenügendem Spülen der Probenkugel oder Undichtigkeit der Analyseapparatur herrühren.

**Nichtbrennbare Gase:** Es wurde keine Verunreinigung des Kammergases gefunden. Die Meßmethode ist aber gegen Luft relativ unempfindlich, weil alle großen Peaks der Luft ohnehin schon auftreten. Für den Anteil von Sauerstoff läßt sich eine Obergrenze von  $220\text{ppm}$  bestimmen. Das Verhältnis von Argon zu Kohlendioxid stimmt mit dem Sollwert überein. Der gemessene Isobutananteil ist bei allen Proben etwas zu hoch (siehe Tabelle 4.2). Da die Abweichung vom Sollwert bei allen Proben von der gleichen Größe ist, kann sie durch einen Fehler in der Kalibrationskonstanten für Isobutan von  $1.3\sigma$  erklärt werden.

**Freon:** Nach etwa  $3\text{h}$  Spülen mit freonhaltigem Gas wurde die erste Probe hinter der Kammer gezogen. Schon bei dieser Probe wurde der endgültige Freongehalt festgestellt. Bei der ersten Messung mit freonfreiem Gas, nach  $19\text{h}$  Spülzeit, war der Freonanteil wieder unter die Nachweisgrenze von ca.  $5\text{ppm}$  gesunken. Nach den normalen Spülzeiten ist der Freonanteil also schon konstant. Anzeichen für Sättigungseffekte sind nicht gefunden worden. Der gemessene Freonanteil ist bei allen Proben deutlich höher als der Sollwert (siehe Tabelle 4.2).

# Kapitel 5

## Verhalten der Streamerrohre

Da die Testmessungen mit den ersten verfügbaren H1-Streamerrohrkammern aus LURANYL durchgeführt wurden soll hier zuerst über die Betriebserfahrungen der ersten Produktionsserien berichtet werden.

### 5.1 Die verwendeten Streamerrohre

Es wurden Streamerrohre aus zwei Produktionsserien verwendet. Die ersten funktionierenden Profile des H1-Typs sind von der Firma Bindi hergestellt worden. Zwei dieser Profile wurden für die ersten Meßreihen benutzt. Die zwei Profile befanden sich zusammen mit jeweils einem schlechten Profil in einer Gasbox. Glücklicherweise war ein "rechtes" und ein "linkes" Profil verwendbar, so daß sich eine Fläche mit 16 nebeneinanderliegenden Drähten zusammenlegen ließ. Die Profile wurden mit beidseitigem Klebeband auf einer Aluminiumplatte fixiert. Auf die gleiche Art wurde die Hartpapierplatte mit der Abschirmung und den äußeren Elektroden auf der Oberseite der Elemente befestigt. Die Flächenwiderstände der von der Firma Bindi hergestellten Profile und der Deckel sollten  $1k\Omega/\square$  b.z.w.  $1M\Omega/\square$  betragen. Mit diesen Profilen wurden von mir Messungen nur mit den nichtbrennbaren Gasen gemacht. C. Püst hatte dieselben Profile zuvor betrieben [16].

Weitere Meßreihen dieser Arbeit wurden mit Profilen der Firmen Ensinger/Grieg durchgeführt. Die Verwendung anderer Profile war dadurch motiviert, daß sie noch nicht Gasmischungen mit Freon ausgesetzt waren. Durch die Gasanalyse und durch einen Vergleich von Meßreihen, vor und nach dem ersten Einsatz von freonhaltigem Gas, sollten Anlagerungen des Freons ausgeschlossen werden. Für diese Meßreihen wurde ein Element benutzt, das zusammen mit 5 weiteren Elementen zu einer kleinen Ebene ( $1.2m \times 1m$ ) verarbeitet worden war. Diese Ebene war für Testmessungen am Elektronenstrahl hergestellt worden. Sie hatte Steifen als äußere Elektroden aufgeklebt. Die Profile sollten einen Flächenwiderstand von  $1k\Omega/\square$  haben. Andere Profile der gleichen Serie, deren Flächenwiderstand gemessen wurde, zeigten, daß dieser Wert bis auf  $\pm 20\%$  stimmt. Die Deckel der Firma Grieg wurden vermessen, und die Flächenwiderstände variieren je nach Ort der Messung zwischen  $0.7M\Omega/\square$  und  $2.7M\Omega/\square$ . Der Sollwert war mit  $1M\Omega/\square$  angegeben.

Hersteller	Gas	Betriebsspannung	Stufen	Überstrom	Bemerkungen
Bindi	F50	4200 – 4700V	50V	bei 4400V	—
Bindi	ACI	4200 – 4700V	50V	—	—
Bindi	F70	4200 – 4700V	50V	—	—
Bindi	F50	4200 – 4700V	100V	—	Reproduzierbarkeitstest
Ensinger	ACI	4200 – 4700V	50V	bei 4700V	—
Ensinger	Std	4200 – 4900V	50V	bei 4900V	—
Ensinger	F50	4200 – 4700V	50V	bei 4700V	—
Ensinger	F50	4200 – 4700V	50V	bei 4700V	für Nachweiswahrscheinlichkeit
Ensinger	ACI	4200 – 4700V	50V	bei 4650V	—
Ensinger	ACI	4200 – 4700V	50V	bei 4700V	für Nachweiswahrscheinlichkeit
Ensinger	F50	4200 – 4700V	50V	bei 4700V	—
Ensinger	Std	4200 – 4900V	50V	—	für Nachweiswahrscheinlichkeit
Ensinger	Std	4450 – 4750V	50V	—	bei 4800V MacII defekt

Std : Standardgas

F50 : Nichtbrennbares Gas mit 50ppm Freon

ACI : Nichtbrennbares Gas ohne Freon F70 : Nichtbrennbares Gas mit 70ppm Freon

Überstrom : Der Strom muß eine Minute größer als  $0.2\mu A$  gewesen sein

Tabelle 5.1: Übersicht der Meßreihen auf denen diese Arbeit basiert, in chronologischer Reihenfolge.

Eine Übersicht aller Meßreihen ist in Tabelle 5.1 zusammengefaßt. Bei den meisten Meßreihen ist am Ende als Reproduzierbarkeitstest die Anfangsspannung wiederholt worden. Als Anfangs- und Endspannung ist immer ein sinnvoller Wert, entweder 4500V oder 4600V, eingestellt worden.

## 5.2 Stabilität des Betriebes

Bei den Messungen der **ersten Serie (Hersteller Bindi)** wurde die Hochspannung in Schritten von 50V bis auf 4700V erhöht. Auf eine weitere Erhöhung wurde verzichtet weil bei der On-Line-Kontrolle ein starkes Nachpulsen auf den Nachbardrähten festgestellt wurde. Bei allen vier Messungen mit 4700V wurde diese Spannung bei nichtbrennbaren Gasen mit und ohne Freon über Stunden gehalten. Das einzige Mal, daß eines der Bindi-Profile mehr Strom als  $0.2\mu A$  über einen Zeitraum von einer Minute gezogen hat, war bei einer ziemlich niedrigen Betriebsspannung von 4400V aufgetreten. Das HV-Gerät hat den entsprechenden Kanal abgeschaltet. Da dann eine Konditionierung vor dem weiteren Betrieb dieses Profils nötig war, könnte die Ursache ein Fremdkörper (z.B. ein Wollfussel oder ein Staubkorn) in der Kammer gewesen sein, der durch den Gasstrom bewegt wurde.

Bei den Profilen der **zweiten Serie (Ensinger)** hat eines der beiden Profile regelmäßig "Strom gezogen", wenn versucht wurde, es mit einer Spannung von 4700V und nichtbrennbaren Gasen zu betreiben. Einmal hat es sogar schon bei 4650V eine Überstromabschaltung



# Kapitel 6

## Meßergebnisse

### 6.1 Die Nachweiswahrscheinlichkeit

Eine wichtige Kenngröße für den Betrieb von Streamerrohren ist die Plateaukurve, die sich ergibt, wenn man die Nachweiswahrscheinlichkeit gegen die Betriebsspannung aufträgt. Die Breite des Plateaus gibt einen Anhaltspunkt für die Stabilität des Kammerbetriebes. Die Nachweiswahrscheinlichkeit ist für alle Gase unter gleichen Trigger-Bedingungen gemessen worden, wodurch ein Vergleich der Meßergebnisse möglich wird.

Die Wahrscheinlichkeit, daß ein oder mehrere Teilchen, die den Trigger auslösen, auch von den Streamerrohren nachgewiesen werden, ist abhängig von:

- Art und Anzahl der Teilchen
- Den Winkeln unter denen die Teilchen die Kammer treffen
- Der geforderten Schwelle, die zum Nachweis überschritten werden muß
- Der angelegten Betriebsspannung
- Der Gasmischung

Die mit den Flash-ADC's digitalisierten Pulse wurden abgespeichert und "off line" die Pulshöhe mit den geforderten Schwellen verglichen. Um dabei eine Schwelle von  $20mV$  benutzen zu können, war es notwendig die Messungen zur Nachweiswahrscheinlichkeit mit dem kleinsten Teiler (1:2.6) durchzuführen. Sonst hätte der Pulsfindalgorithmus zur Abspeicherung auf dem Datennahme-Rechner bereits einer größeren Pulshöhe als  $20mV$  entsprochen (siehe Abschnitt 3.2 und Abschnitt 3.3). Die Messungen hatten deshalb einen hohen Anteil an Pulsen, die über den Meßbereich des Flash-ADC hinausgingen. Daher waren diese Messungen ausschließlich zur Bestimmung der Nachweiswahrscheinlichkeit zu gebrauchen und bestanden nur aus 200–1000 ausgelesenen Ereignissen.

Die Bestimmung der Ansprechwahrscheinlichkeit aus unabhängigen Messungen wird durch die Binomialverteilung beschrieben. Für die Nachweiswahrscheinlichkeit und ihre Standardabweichung ergeben sich folgende Ausdrücke:

$$\epsilon = \frac{N_{Puls}}{N_{Trigg}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\epsilon \cdot (1 - \epsilon)}{N_{Trigg}}}$$

$N_{Puls}$  : Anzahl der Pulse die die Schwelle überschreiten  
 $N_{Trigg}$  : Anzahl der ausgelesenen Trigger

Für die Beurteilung der Meßergebnisse ist die geometrische Obergrenze der Nachweiswahrscheinlichkeit wichtig. Diese Obergrenze ist durch die Wahrscheinlichkeit gegeben, mit der Spuren, die alle drei Triggerszintillatoren durchdringen, auch mindestens einen aktiven Bereich der Streamerrohre treffen. Dieser Wert ist mit einer Monte Carlo-Rechnung zu 92.5% bestimmt worden. Die Winkelverteilung der Spuren ist dabei proportional zu  $\cos^2\theta$  angenommen worden, wobei  $\theta$  der Winkel zwischen der Spur und der Senkrechten ist. In dieser Berechnung sind natürlich nur einzelne Teilchen berücksichtigt worden. Die Kammern wurden aber einem Gemisch aus einzelnen kosmischen Myonen und Schauern ausgesetzt. Die in diesem Abschnitt angegebenen Meßwerte beziehen sich alle auf dieses Gemisch. Bei anderen Meßreihen mit höherer Statistik wurde der Anteil der Schauer zu etwa 7% bestimmt. Die Kriterien zur Schauererkennung sind im nächsten Abschnitt beschrieben. Mit der Annahme, daß Schauer mit einer Wahrscheinlichkeit von 100% nachgewiesen werden, ergibt sich eine geometrische Obergrenze von 93.0% für die Nachweiswahrscheinlichkeit dieses Gemisches.

Beim **Standardgas** ist die Nachweiswahrscheinlichkeit 92.5% für eine Schwelle von 20mV und einer Betriebsspannung von mindestens 4600V (Abbildung 6.1A). Im Rahmen der Fehler stimmt dieser Wert mit der geometrischen Obergrenze überein. Bei einer Schwelle von 100mV erreicht die Nachweiswahrscheinlichkeit erst bei einer Betriebsspannung von 4800V ein Plateau. Die Nachweiswahrscheinlichkeit auf diesem Plateau ist 90%.

Die **nichtbrennbaren Gasmischungen** erreichen die geometrische Obergrenze für die Nachweiswahrscheinlichkeit nicht. Das **nichtbrennbare Gas ohne Freon** erreicht bei 4600V ein Plateau der Nachweiswahrscheinlichkeit für beide Schwellen (Abbildung 6.1B). Die Nachweiswahrscheinlichkeit im Plateau ist 90% bei einer Schwelle von 20mV und 88% bei 100mV Schwelle. Die maximal verträgliche Betriebsspannung liegt aber nur 50 – 100V über dem Beginn des Plateaus. Bei einer Spannung von 4700V fingen die Kammern nach kurzer Zeit an Strom zu ziehen, so daß sich das Hochspannungsgerät abschaltete.

Beim **nichtbrennbaren Gas mit 50ppm Freon** gilt für die Nachweiswahrscheinlichkeit das gleiche wie beim Gas ohne Freon (Abbildung 6.1C). Nur der Meßwert für 4500V ist unterschiedlich. Die Möglichkeit, daß dieser Wert durch eine zu hoch eingestellte Hochspannung verursacht wurde, kann ausgeschlossen werden, weil die mittlere Ladung der Pulse kleiner ist als beim 4550V-Datensatz.

Für die **nichtbrennbare Gasmischung mit 70ppm Freon** wurden die Nachweiswahrscheinlichkeiten aus den Daten der Bindi-Profile bestimmt (Abbildung 6.1D). Diese Profile haben

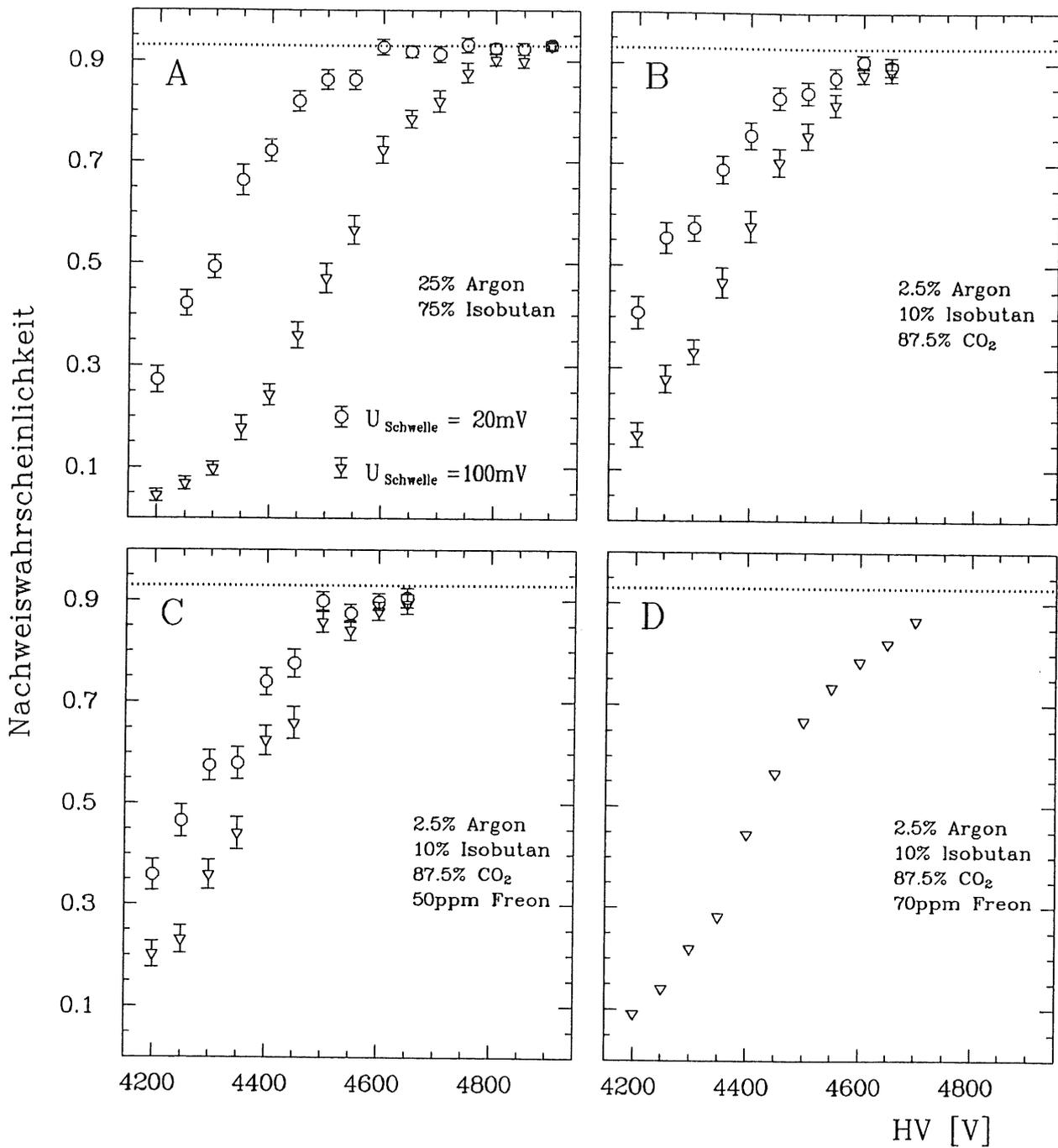


Abbildung 6.1: Nachweiswahrscheinlichkeit für alle untersuchten Gase in Abhängigkeit von der Hochspannung

eine Betriebsspannung von 4700V vertragen. Es wurde aber kein spezieller Datensatz zur Bestimmung der Nachweiswahrscheinlichkeit angelegt. Daher ist es nicht möglich eine Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Schwelle von 20mV zu bestimmen. Die Fehlerbalken der Nachweiswahrscheinlichkeit bei der Schwelle von 100mV sind kleiner als die Symbole und wurden weggelassen. Es wurde weder ein Plateau in der Nachweiswahrscheinlichkeit, noch die von

den anderen nichtbrennbaren Gasmischungen erzielte Höhe der Nachweiswahrscheinlichkeit erreicht. Leider sind diese Messungen bei extrem hohem Luftdruck und relativ niedriger Temperatur gemacht worden, so daß der Effekt nicht dem Freon allein zugeschrieben werden kann.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß das Plateau der Nachweiswahrscheinlichkeit beim Standardgas und einer Schwelle von  $20mV$  recht breit ist und die erreichte Nachweiswahrscheinlichkeit mit der geometrischen Obergrenze von 93% übereinstimmt. Man kann, wie bei Streamerrohren üblich, den Arbeitspunkt etwas oberhalb des "Knie's" wählen. Es ergibt sich damit eine Arbeitsspannung von z.B.  $4700V$ .

Bei den **nichtbrennbaren Gasen** ist das Plateau in der Nachweiswahrscheinlichkeit sehr schmal oder gar nicht vorhanden. Ist ein Plateau vorhanden, erreicht die Nachweiswahrscheinlichkeit dort fast die Höhe des Standardgas-Plateaus. Will man die Streamerrohrkammern im Bereich maximaler Nachweiswahrscheinlichkeit stabil betreiben, so muß man eine Betriebsspannung von  $4600V$  wählen, denn bei  $4650V$  erfolgte schon die erste Hochspannungsabschaltung (Tabelle 5.2). Bei  $4600V$  treten jedoch schon häufig Nachpulse auf wie in Abschnitt 6.3 und Abschnitt 6.6 gezeigt werden wird.

## 6.2 Schnitte gegen Ereignisse der kosmischen Strahlung mit mehreren Teilchen

Die Messungen dieser Arbeit wurden mit kosmischer Strahlung durchgeführt. Die kosmische Strahlung, die bis auf den Erdboden gelangt, besteht hauptsächlich aus einzelnen Myonen. Es kommen aber auch Schauer vor, so daß es möglich ist das mehrere Teilchen etwa zeitgleich die Streamerrohrkammer durchqueren. Um die Wirkung der kosmischen Schauer auf die weiteren Meßergebnisse zu minimieren, werden die in diesem Abschnitt erläuterten Auswahlkriterien angewendet.

In Abbildung 6.2 ist die mittlere Anzahl der angesprochenen Drähte für das Standardgas gegen die Betriebsspannung aufgetragen. Im Bereich maximaler Nachweiswahrscheinlichkeit ist dieser Wert konstant und liegt bei 1.21. Daß dieser Wert größer als 1.0 ist, muß in erster Linie auf die kosmischen Schauer zurückgeführt werden. Die Wahrscheinlichkeit, daß zwei unabhängig erzeugte kosmische Myonen in der ausgelesenen Zeit von  $1.2\mu s$  die Kammer treffen, ist vernachlässigbar. Einen geringen Beitrag können auch schräge Spuren liefern, die zwei Streamerrohre durchdringen. Mit dem schon im Abschnitt 6.1 erwähnten Monte Carlo-Programm ergibt sich ein Anteil von 0.34% für Spuren, die durch zwei Streamerrohre gehen. Wie in Abschnitt 6.7 dargestellt wird, gibt es außerdem bei den nichtbrennbaren Gasen ein Übersprechen von einem Draht zum Nachbarn, das auch zum Ansprechen mehrerer Drähte führen kann.

Es ist wünschenswert die Ereignisse mit mehreren auslösenden Teilchen auszuschließen, weil ihr Anteil von der ausgelesenen Fläche und vom Trigger abhängen wird. Damit würde es schwieriger werden die Ergebnisse auf andere Bedingungen zu übertragen. Die beiden anderen Effekte sollen aber berücksichtigt werden, weil sie die Reaktionen der Streamerrohr-

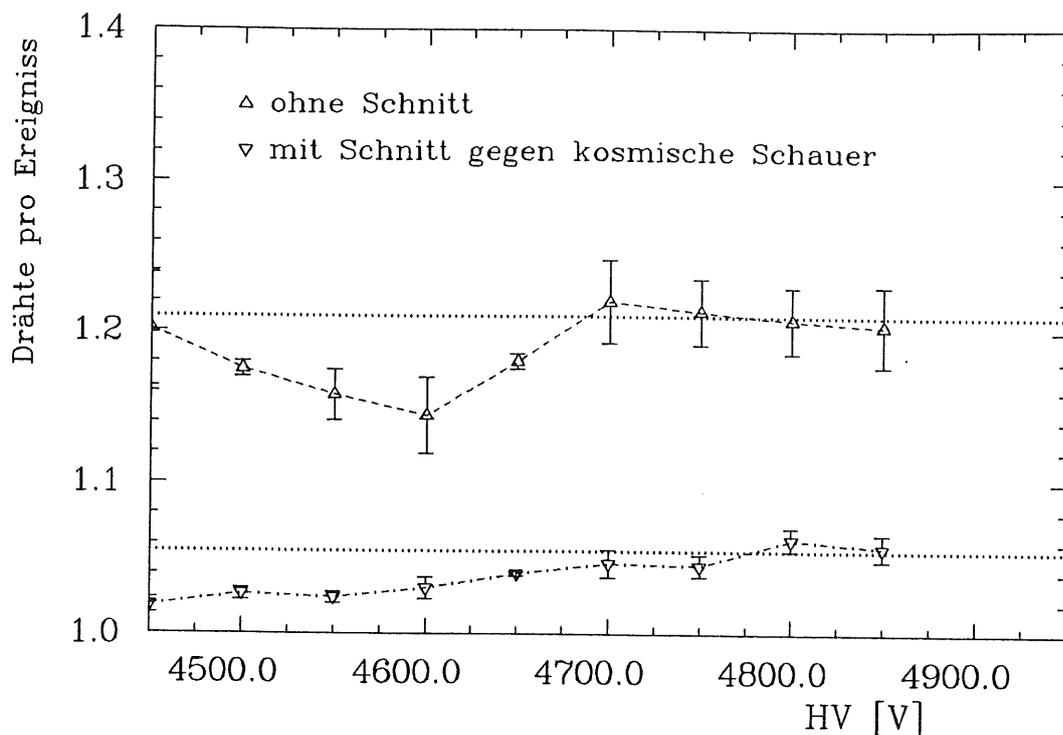


Abbildung 6.2: Mittlere Anzahl der Drähte mit Pulsen über  $50mV$  für das Standardgas in Abhängigkeit von der Hochspannung. Es muß mindestens ein Draht ansprechen.

kammer auf einzelne Teilchen sind. Insbesondere das Übersprechen ist eine charakteristische Eigenschaft des nichtbrennbaren Gases und sollte bei einem Vergleich mit dem Standardgas beachtet werden.

Um Ereignisse der kosmischen Strahlung mit mehreren Teilchen auszuschließen, nicht aber die Ereignisse mit Nachpulsen auf den Nachbardrähten, wurden folgende Bedingungen gefordert:

- Nur die Drähte eines der beiden Profile dürfen ansprechen, weil das Übersprechen nur innerhalb eines Profils beobachtet wurde. Außerdem ist es geometrisch unmöglich, daß eine Spur durch die Triggerszintillatoren und den aktiven Bereiche beider Profile geht.
- Es darf nur ein Draht oder eine zusammenhängende Gruppe von Drähten ansprechen.
- Die Zeiten der jeweils ersten Pulse auf den Drähten müssen von einem zentralen Draht nach beiden Seiten kontinuierlich anwachsen. (Nachpulse sind in jeder einzelnen Röhre möglich)

In allen Auswertungen, außer denjenigen zur Nachweiswahrscheinlichkeit und der Demonstration des Übersprechens in Abschnitt 6.7, sind diese Auswahlkriterien benutzt worden. Bei Datensätzen mit hoher Nachweiswahrscheinlichkeit wurden etwa 7% der Ereignisse aussortiert. In Abbildung 6.2 ist die mittlere Anzahl der angesprochenen Drähte für diejenigen Ereignisse dargestellt die, welche die Auswahlkriterien erfüllen. Im Bereich hoher Nachweiswahrscheinlichkeit ist die mittlere Anzahl wieder konstant, liegt aber nach dem Schnitt nur

noch bei 1.055 . Weil für das Standardgas kein Übersprechen auf die Nachbardrähte beobachtet wird, sind die verbleibenden Ereignisse mit mehreren Drähten auf schräge Spuren und Schauer, die zufällig die Kriterien erfüllen, zurückzuführen,

### 6.3 Ladungsverteilungen und Nachpulsen

Eine wichtige Größe für kalorimetrische Messungen ist die Ladungsverteilung der von einem minimal ionisierenden Teilchen verursachten Streamerpulse. Die Ladung auf den äußeren Elektroden, die beim H1-Detektor ausgelesen werden sollen, ist im wesentlichen eine Funktion der Drahtladung.

Die Ladung der Drahtsignale wurde aus den abgespeicherten FADC-Daten nach folgender Formel bestimmt:

$$Q = \frac{t_{Step}}{K_{Eich} \cdot R} \cdot \sum_i (h_i - h_{ped})$$

$h_i$  : Ergebnis der i-ten Digitalisierung

$h_{ped}$  : Höhe des Pedestals, wird vom On-Line-Pulsfinder bestimmt

$R$  : Eingangswiderstand des benutzten Abschwächers

$K_{Eich}$  : Eichkonstante des jeweiligen Auslesekanals

$t_{Step} = 10ns$  : Zeit zwischen zwei Digitalisierungen

Dabei erstreckte sich die Summe über alle vom Pulsfinder abgespeicherten Zeitscheiben der FADC-Digitalisierungen. Für die folgenden Verteilungen und Mittelwerte werden nur Ereignisse berücksichtigt, die vom Pulsfinder abgespeichert wurden. Sie müssen daher mindestens einen angesprochenen Draht haben. Eine Korrektur auf die Nachweiswahrscheinlichkeit erfolgt nicht. Ereignisse mit mehreren angesprochenen Drähten werden dabei berücksichtigt, sofern sie nicht durch die Schnitte gegen kosmische Schauer verworfen werden (Abschnitt 6.2).

Die Verteilungen der Drahtladungen sind in Abbildung 6.3 für alle untersuchten Gase und für verschiedene Betriebsspannungen dargestellt. In der linken Spalte sind die Ladungsverteilungen für das Standardgas bei Betriebsspannungen von 4.2kV bis 4.8kV und in den Spalten rechts davon sind die Ladungsverteilungen für die nichtbrennbaren Gase mit den verschiedenen Freon-Anteilen dargestellt. Die Verteilungen sind so normiert, daß die Summe der Einträge 1 ergibt. Die wahrscheinlichsten Ladungen sind für alle Gase bei 4.2kV sehr klein, es dominiert der Proportionalmode. Bei den nichtbrennbaren Gasen und 4.3kV hat die Ladungsverteilung zwei Maxima die durch Pulse im Proportional- bzw. Streamermode erklärt werden können. Der erste Peak ist allerdings noch stark vom Pulsfinder der Datennahme beeinflusst, so daß diese Datensätze keinen Aufschluß über die Häufigkeit und mittlere Ladung von Pulsen im Proportionalmode erlauben. Bei Spannungen von mindestens 4.4kV (4.5kV bei Standardgas) dominiert der Streamermode. Bei den nichtbrennbaren Gasen und der höchsten Betriebsspannung ist rechts von dem höchsten Ladungspeak ein zweites Maximum zu sehen. Ansatzweise ist diese Struktur auch schon bei 4500V vorhanden.

Es liegt nahe, dieses zweite Maximum in der Ladungsverteilung durch Mehrfachpulse zu

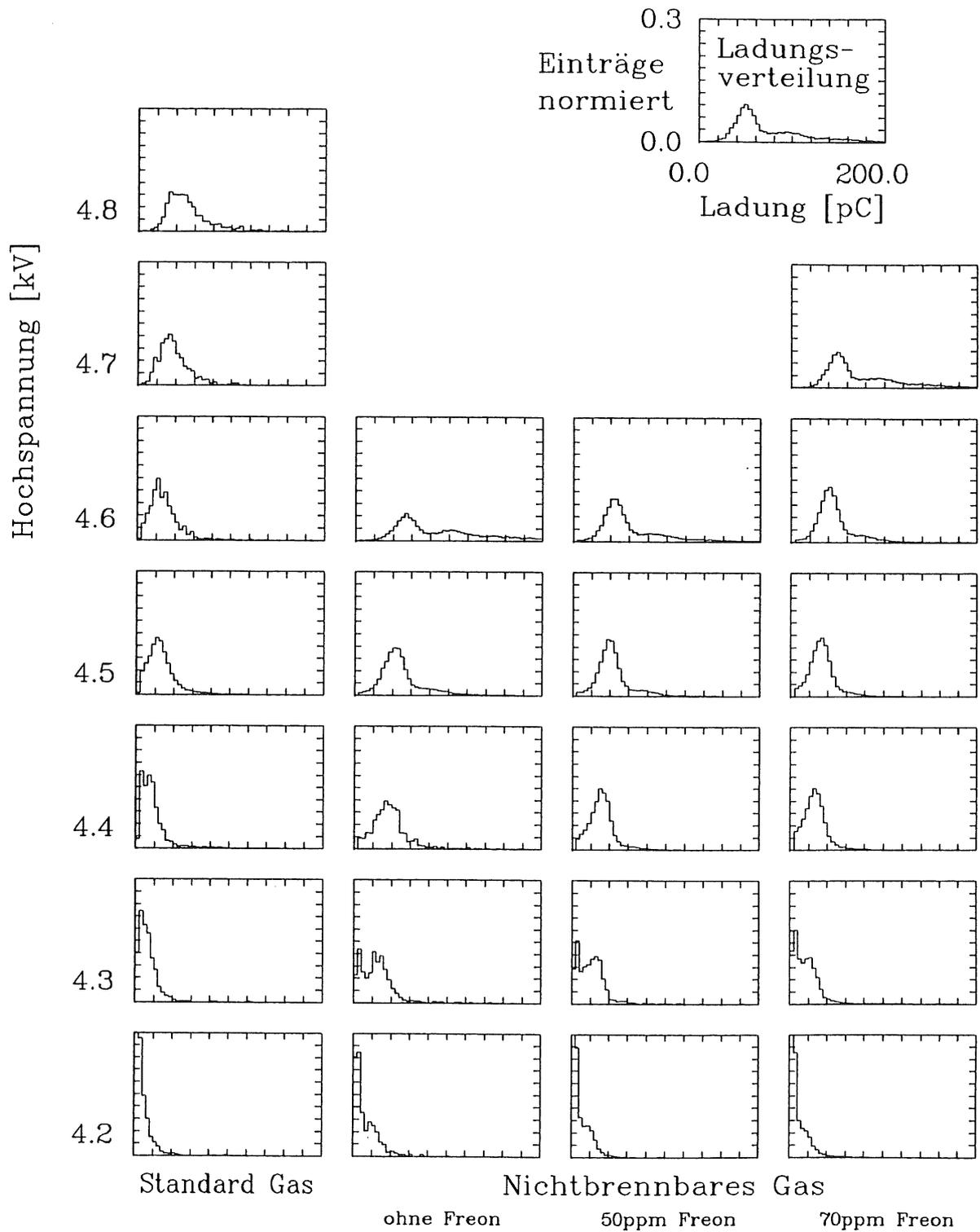


Abbildung 6.3: Häufigkeitsverteilungen der Streamerladungen für verschiedene Gase und Betriebsspannungen

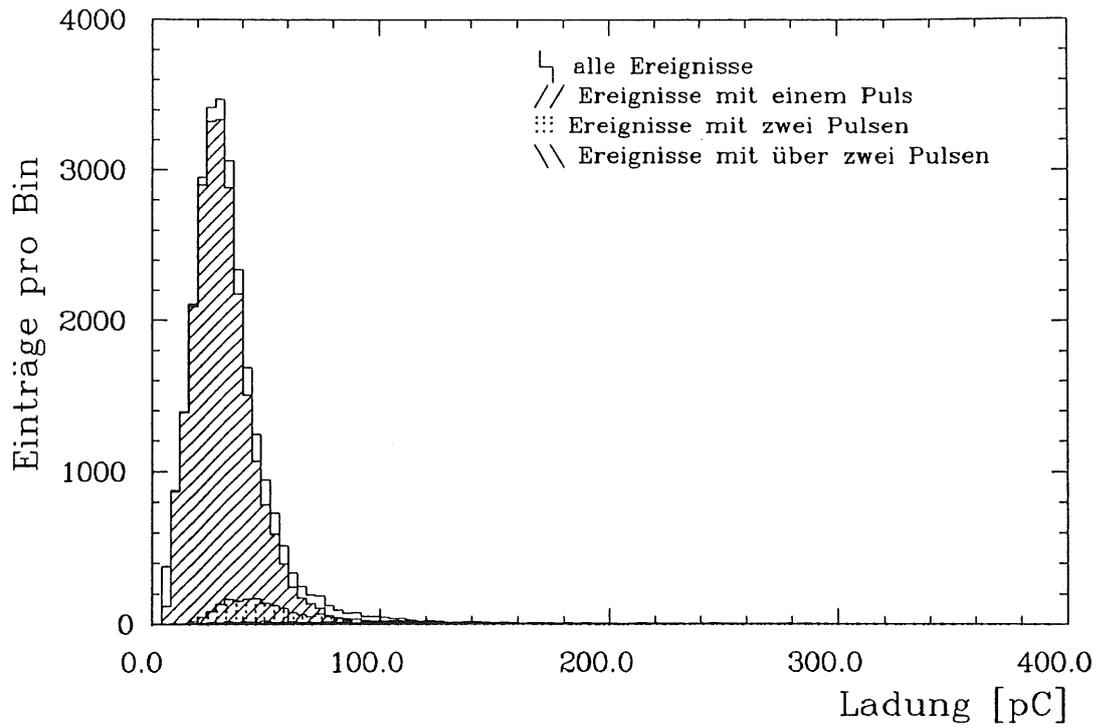


Abbildung 6.4: Häufigkeitsverteilung der Streamerladung für das Standardgas (25% Argon, 75% Isobutan) bei einer Betriebsspannung von 4650V

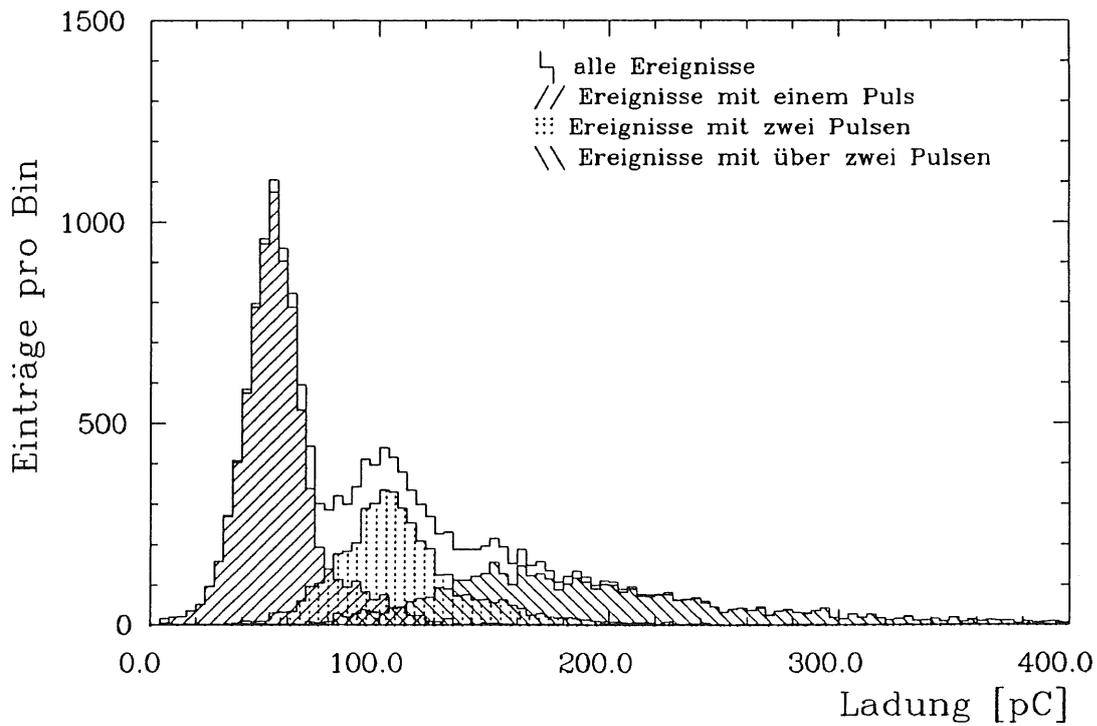


Abbildung 6.5: Häufigkeitsverteilung der Streamerladung für das nichtbrennbare Gas ohne Freon (2.5% Argon, 87.5% CO<sub>2</sub>, 10% Isobutan) bei einer Betriebsspannung von 4600V

erklären. Um diese Vermutung zu verifizieren, sind die Ladungen nach der Pulsanzahl sortiert worden (Abbildung 6.4 und Abbildung 6.5). Der verwendete Algorithmus zur Doppelpulssuche ist im Anhang beschrieben. Das zweite Maximum in der Ladungsverteilung für das nichtbrennbare Gas tatsächlich von den Ereignissen mit einem Doppelpuls gebildet. Der wahrscheinlichste Ladungswert für Ereignisse mit zwei Pulsen liegt bei genau dem doppelten Wert der Ein-Puls-Ereignisse. Die wahrscheinlichste Ladung ist also unabhängig davon, ob es sich um den primären Puls oder einen sekundären Puls handelt. In Abschnitt 6.6 wird gezeigt, daß es sich bei den Mehrfachpulsen der nichtbrennbaren Gase wahrscheinlich um Nachpulse handelt, die durch Photonen die die Kathode erreichen ausgelöst werden.

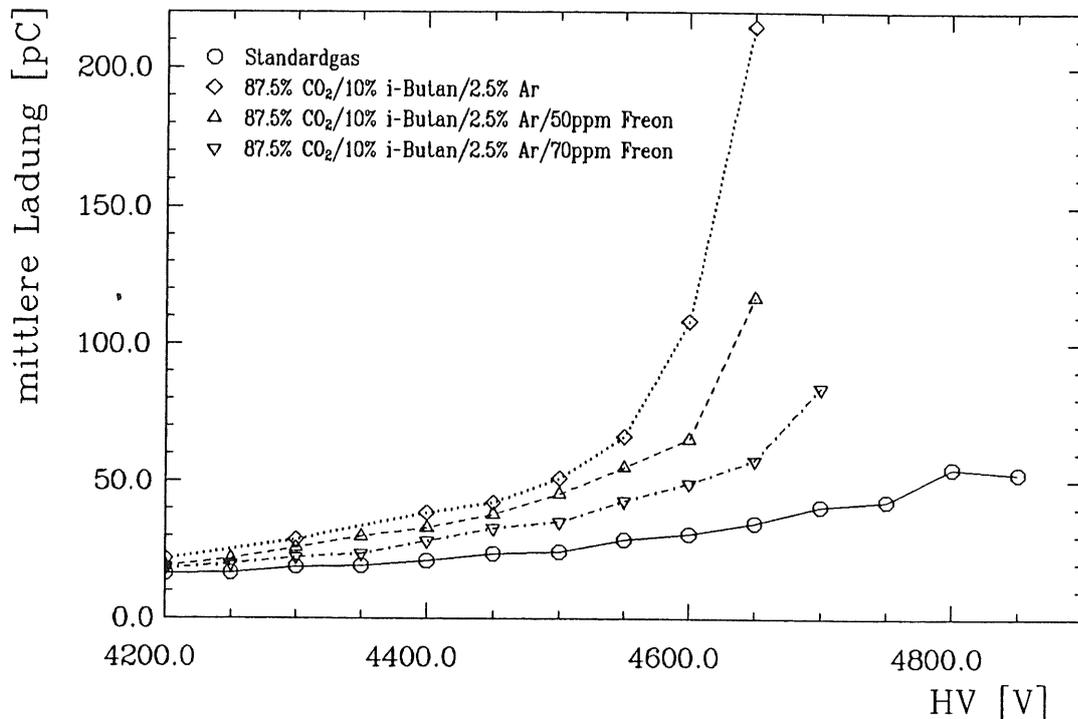


Abbildung 6.6: Mittlere Ladung aller Ereignisse mit mindestens einem Puls über  $50\text{mV}$  in Abhängigkeit von der Hochspannung

Auch beim Standardgas werden Pulse mit mehreren Maxima beobachtet. Diese haben aber völlig andere Eigenschaften: Der Anteil der Mehrfachpulse ist erheblich geringer als bei dem nichtbrennbaren Gasen. Die meisten dieser Pulse haben außerdem nur wenig mehr Ladung als ein einfacher Puls (Abbildung 6.4). Auch der zeitliche Abstand der Pulsmaxima ist kleiner, so daß es sich bei diesen Pulsen nicht um Nachpulse handeln kann (Abschnitt 6.6).

Die Abbildungen 6.6 und 6.7 zeigen die mittlere Ladung  $\bar{Q}$  bzw. die relative Breite der Ladungsverteilung  $\frac{\sigma_{RMS}(Q)}{\bar{Q}}$ . Der verwendete Abschwächer bestimmt die Pulshöhe, die ein Puls überschreiten muß, um vom Pulsfindalgorithmus der Datennahme abgespeichert zu werden. Um unabhängig von diesen mehrfach wechselnden Schwellen zu sein, werden nur Pulse mit einer Höhe von mindestens  $50\text{mV}$  für die Mittelwertbestimmung berücksichtigt. Bei Betriebsspannungen von ca.  $4600\text{V}$  nehmen bei den nichtbrennbaren Gasen die Ladungen stark zu. Gleichzeitig nehmen auch die relativen Breiten der Ladungsverteilungen zu.

Die Erklärung für die Entwicklung der Ladungsmittelwerte und der Breiten der Ladungs-

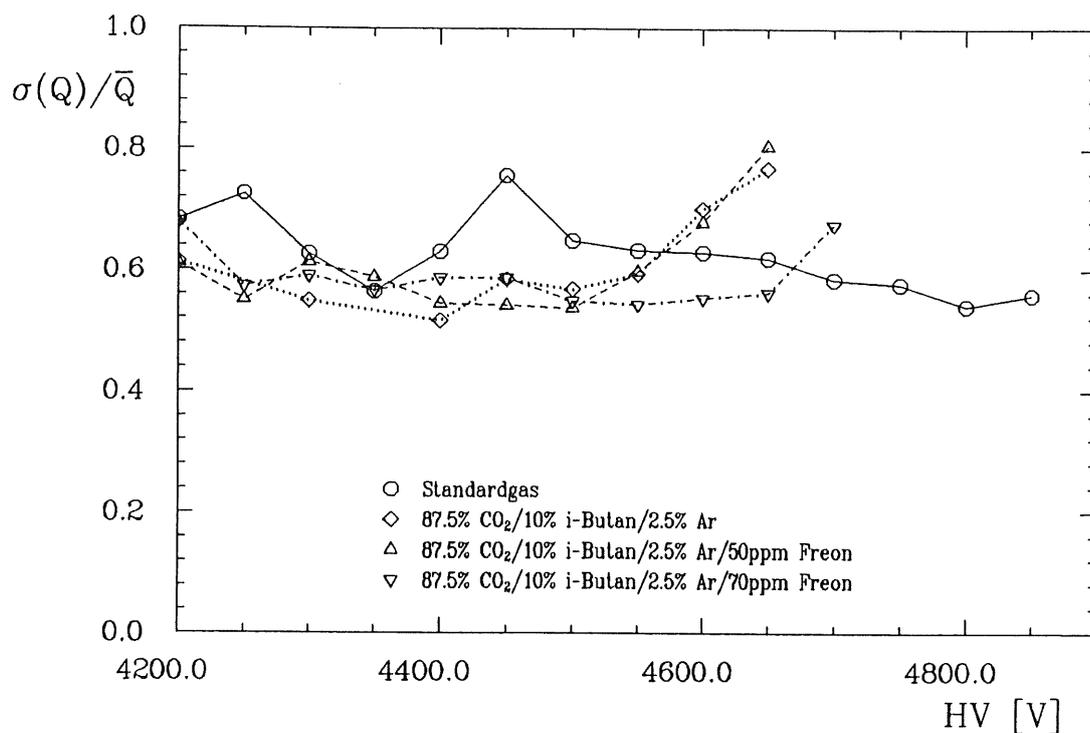


Abbildung 6.7: Relative Breiten der Ladungsverteilungen aller Pulse über 50mV in Abhängigkeit von der Hochspannung

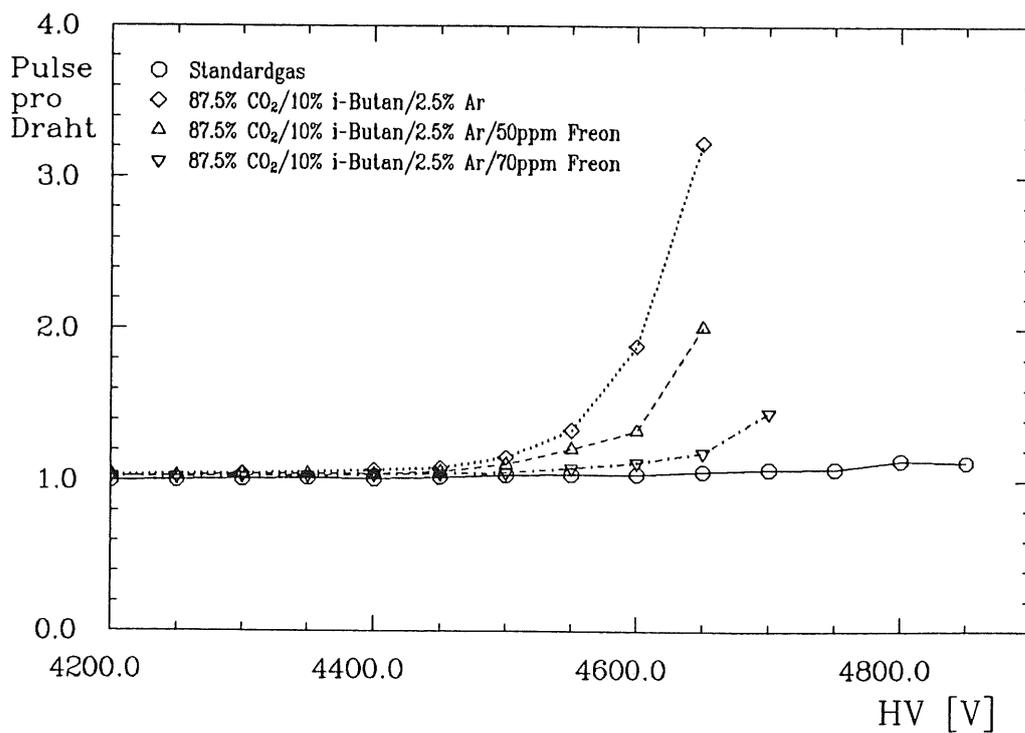


Abbildung 6.8: Mittlere Anzahl der Pulse auf einem Draht in Abhängigkeit von der Hochspannung. Gemittelt wurde über alle Drähte mit mindestens einem Puls über 50mV.

verteilungen mit der Hochspannung findet man in der mittleren Anzahl der Pulse (Abbildung 6.8). Man sieht bei jedem der drei nichtbrennbaren Gase einen starken Anstieg der mittleren Pulsanzahl, der bei derselben Hochspannung wie die extreme Zunahme der Ladung beginnt. Die extrem hohen mittleren Ladungen bei den höchsten Betriebsspannungen sind also offensichtlich auf Mehrfachpulse zurückzuführen. Durch die Fluktuation der Pulsanzahl erhöhen sich bei diesen Betriebsspannungen auch die erhöhten relativen Breiten der Ladungsverteilungen.

Beim Standardgas nehmen die relativen Breiten der Ladungsverteilungen dagegen bei Hochspannung von mehr als 4400V kontinuierlich mit wachsender Hochspannung ab.

Die Fehlerbalken für die mittlere Ladung und die mittlere Anzahl der Pulse wären kleiner als die verwendeten Symbole und wurden deshalb weggelassen.

## 6.4 Pulshöhenverteilungen

Die Höhe der Pulse ist für die H1-Streamerrohre eine wichtige Größe, weil alle Drähte digital ausgelesen werden. Die Schwelle, die zur Erkennung der Pulse verlangt wird, muß deutlich über dem Rauschen und der Störsignale liegen. Die Störsignale auf den Drahtauslesekarten selbst haben eine Größe von ca. 20mV.

Es ist zu bemerken, daß die Pulshöhe stark von dem Auslewiderstand abhängt. Als Auslewiderstand wurde 270Ω gewählt, was etwa gleich dem Wellenwiderstand von Draht und Röhre ist. In Abbildung 6.9 sind die Pulshöhenverteilungen von allen untersuchten Gasen und verschiedenen Betriebsspannungen dargestellt.

Dabei sind zwei kleine Überlaufpeaks zu erkennen. Sie kommen dadurch zustande, daß die vier Kanäle eines Moduls eine um etwa 25% höhere Empfindlichkeit als die anderen Kanäle haben. Die Kanäle der drei anderen Module besitzen bis auf ca. 2% die gleiche Empfindlichkeit. Die unterschiedliche Lage dieser Peaks bei verschiedenen Datensätzen liegt daran, daß die Abschwächer gewechselt worden sind. Das Fehlen der kleinen Pulshöhen ist auf den Pulsfinder der Datennahme zurückzuführen.

Die Pulshöhenverteilungen des **Standardgases** haben bei Betriebsspannungen von 4.3kV und 4.4kV das Maximum bei Werten, die gerade über der Schwelle des Datennahme Programmes liegen. Durch die verschiedenen Empfindlichkeiten der Flash-ADC-Kanäle ist die Schwelle in den Verteilungen verschmiert worden. Bei 4.5kV und 4.6kV ist die wahrscheinlichste Pulshöhe deutlich größer als die Schwelle, die Verteilung wird aber nach unten noch von dieser Schwelle abgeschnitten. Im Arbeitspunkt bei 4.7kV ist die Verteilung beinahe symmetrisch und bei 4.8kV bekommt sie einen Ausläufer zu höheren Werten

Die Pulshöhenverteilungen der **nichtbrennbaren Gase** haben bei 4.5kV (bzw. 4.6kV beim Gas mit 70ppm Freon) eine Form, die ähnlich der des Standardgases bei 4.7kV ist. Bei 4.6kV (bzw. 4.7kV) zeigt sich auch ein Ausläufer zu größeren Pulshöhen. Aufgrund der Pulshöhenverteilungen kann man nicht verstehen, warum die Nachweiswahrscheinlichkeit bei 4.5kV (bzw. 4.6kV) noch nicht maximal ist (Abschnitt 6.1). Es gibt nämlich keinen

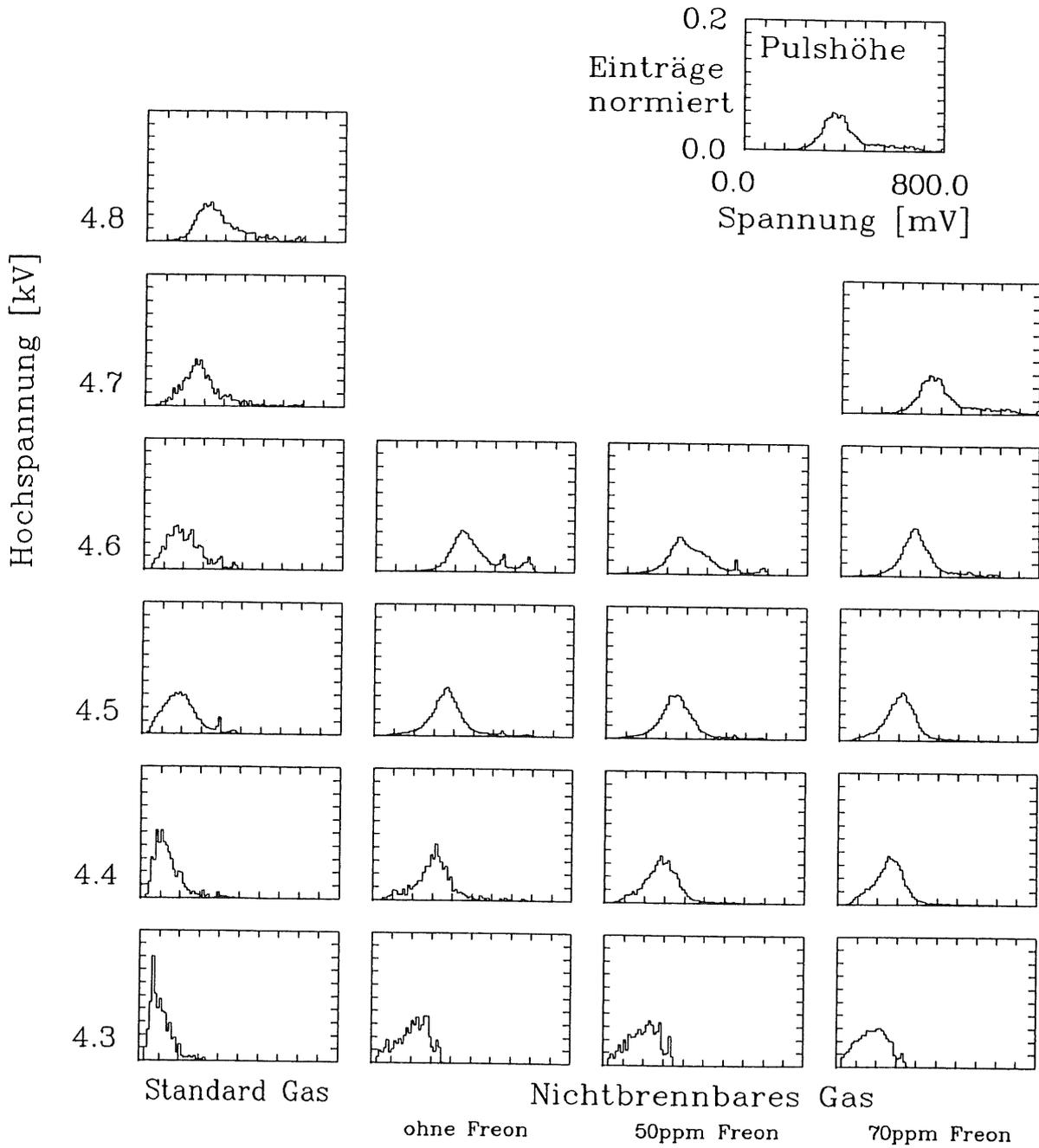


Abbildung 6.9: Häufigkeitsverteilungen der Pulshöhen für verschiedene Gase und Betriebsspannungen

Ausläufer zu niedrigen Pulshöhen, der durch die Schwelle zum Pulsnachweis abgeschnitten werden könnte. Es gibt also Ereignisse die keinen Streamer produzieren und andere die einen großen Streamerpuls mit relativ kleinen Schwankungen erzeugen. Der gleiche Grund ist dafür verantwortlich, daß der Plateauanfang von der verlangten Schwelle unabhängig ist.

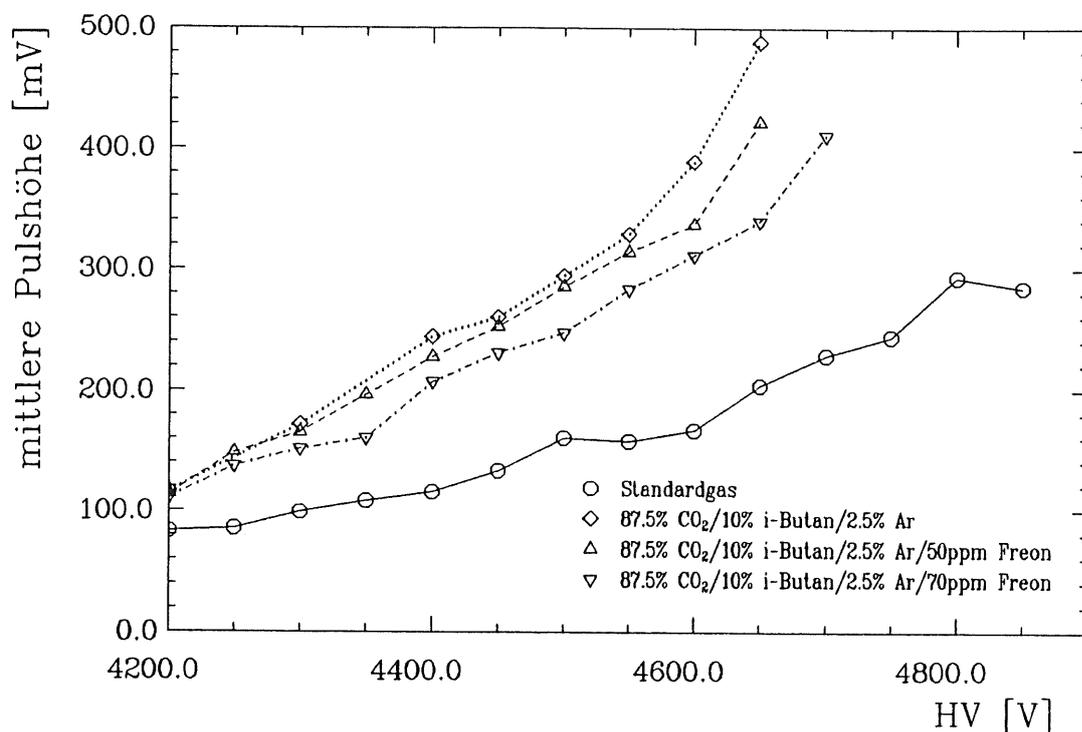


Abbildung 6.10: Mittlere Pulshöhe aller Pulse über  $50\text{mV}$  in Abhängigkeit von der Hochspannung

Die Mittelwerte der Pulshöhen und die relativen Breiten der Pulshöhenverteilung sind in Abbildung 6.10 bzw. Abbildung 6.11 gegen die Betriebsspannung aufgetragen. Um unabhängig von den verschiedenen Schwellen der Datennahme zu sein, sind hierfür nur Pulse verwendet worden, die mindestens eine Höhe von  $50\text{mV}$  haben. Die Fehler der Mittelwerte sind kleiner als die Symbole in Abbildung 6.10, deshalb ist auf Fehlerbalken verzichtet worden. Die relative Breite ist durch  $\frac{\sigma_{RMS}(U)}{U}$  bestimmt worden.

Die Pulshöhen sind bei den nichtbrennbaren Gasen deutlich höher als beim Standardgas für die gleiche Betriebsspannung. Selbst wenn man den Arbeitspunkt des nichtbrennbaren Gases auf  $4500\text{V}$  festlegt, sind die Pulshöhen bei allen nichtbrennbaren Gasen größer als beim Standardgas im Arbeitspunkt ( $\approx 4700\text{V}$ ). Die relativen Breiten der Pulshöhenverteilungen sind bei den nichtbrennbaren Gasen für alle Spannungen deutlich kleiner als beim Standardgas im Arbeitspunkt.

## 6.5 Driftzeitverteilung

In Abbildung 6.12 sind die Zeitverteilungen der ersten Pulsmaxima in Abhängigkeit von der Betriebsspannung und des Gases aufgetragen. Die Lage des ersten Bins wird im wesentlichen von den Laufzeiten des Trigger- und des Drahtsignals bestimmt. Unter der Annahme, daß die

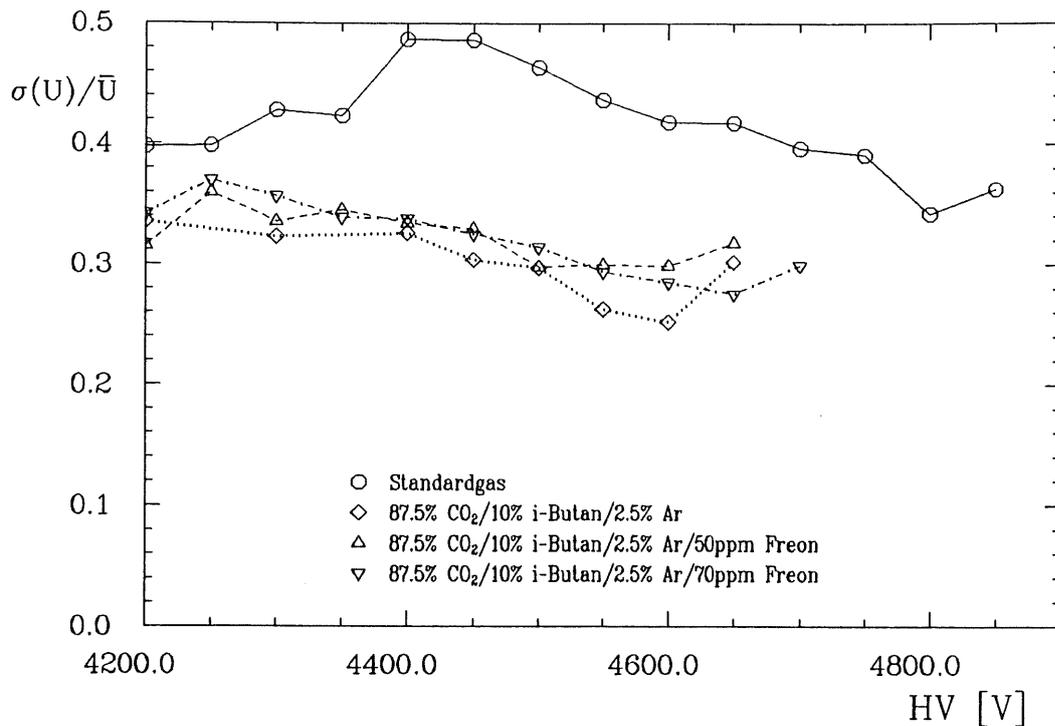


Abbildung 6.11: Relative Breiten der Pulshöhenverteilungen aller Pulse über  $50mV$  in Abhängigkeit von der Hochspannung

frühesten Pulse durch Elektronen ausgelöst werden, die dicht am Draht erzeugt wurden und eine vernachlässigbare Driftzeit haben, bekommt man Informationen über die tatsächliche Driftzeit. Die Annahme ist durch die Tatsache gerechtfertigt, daß das erste gefüllte Bin weder vom Gas noch von der Betriebsspannung abhängt.

Das nichtbrennbare Gas hat einen deutlich bevorzugten Zeitpunkt für das erste Maximum,  $20ns$  nach dem ersten Bin. Dies zeigt, daß die Driftgeschwindigkeit der Elektronen stark von der elektrischen Feldstärke abhängt, denn der minimale Abstand zwischen der Spur des nachzuweisenden Teilchens und dem Draht ist annähernd gleichverteilt. Zwischen den Zeitverteilungen der verschiedenen nichtbrennbaren Gase ist kein signifikanter Unterschied festzustellen.

Die Driftzeitverteilungen beim Standardgas zeigen für Betriebsspannungen von mindestens  $4.5kV$  kein ausgeprägtes Maximum, sondern einen Bereich mit nahezu der gleichen Anzahl von Einträgen pro Bin. Dieser Bereich erstreckt sich von  $20 - 90ns$ , wenn der Anfang des ersten gefüllten Bins als Null definiert wird. Die Form dieser Verteilungen deutet darauf hin, daß die Driftgeschwindigkeit nahezu unabhängig von der Feldstärke ist. Von F. Gasparini et al. sind genauere Messungen der Driftzeitverteilung und der Orts-Driftzeit-Abhängigkeit mit Streamerrohren der gleichen Geometrie und dem gleichen Gas gemacht worden [17]. Insbesondere ist dabei ein linearer Zusammenhang zwischen Driftstrecke und der Driftzeit festgestellt worden. Das bestätigt die Vermutung, daß die Driftgeschwindigkeit im Standardgas unabhängig von der Feldstärke ist.

Eine Erklärung für die vereinzelt auftretenden hohen Driftzeiten ist der lange Weg, den Elek-

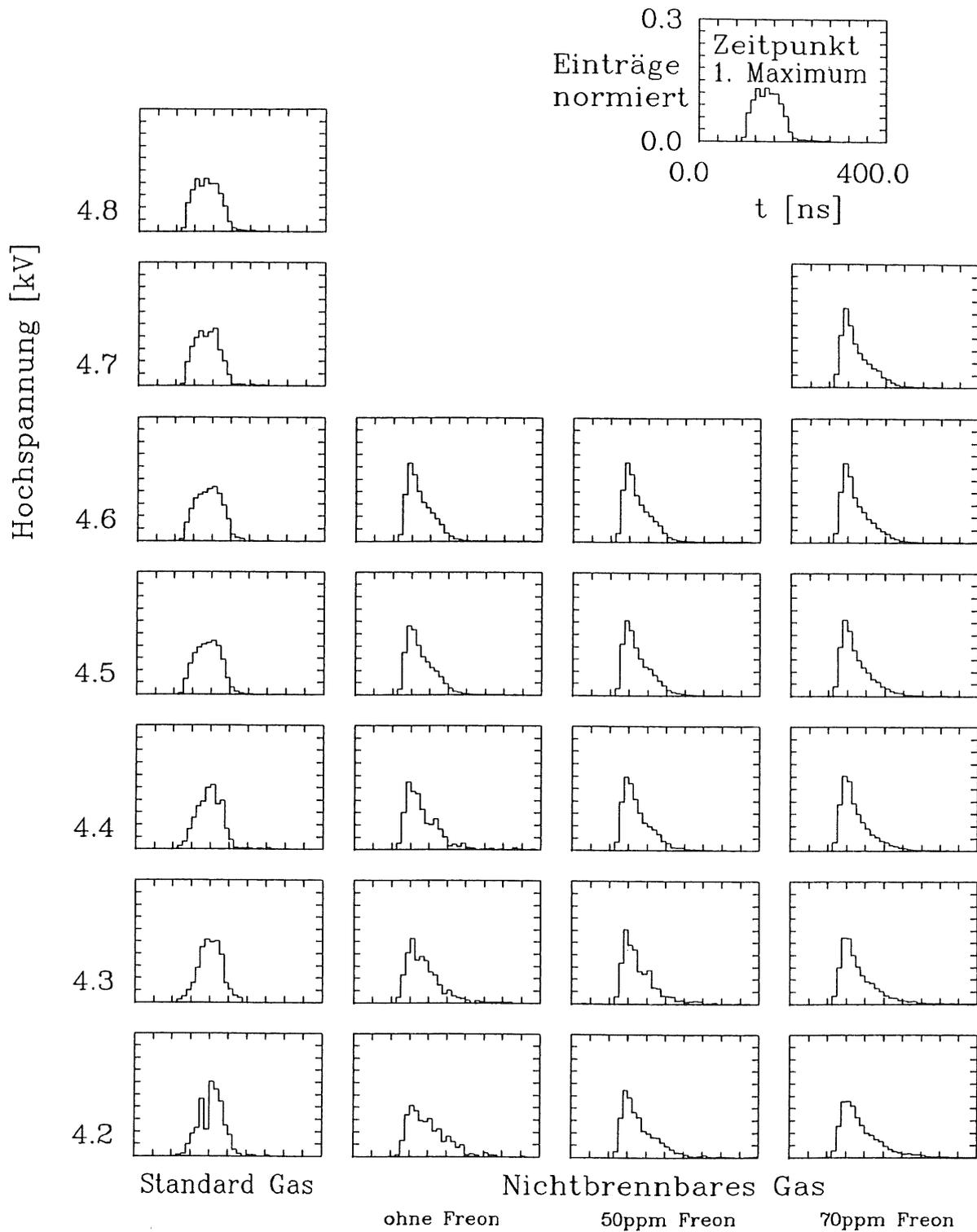


Abbildung 6.12: Häufigkeitsverteilungen der Zeitpunkte für das erste Pulsmaximum bei verschiedenen Gasen und Betriebsspannungen (Driftzeitverteilungen)

tronen aus den Ecken der quadratischen Streamerrohre bis zum Draht zurückzulegen haben. Im Falle der nichtbrennbaren Gase tritt dieser Effekt verstärkt auf. Dieses kann auch durch eine Abhängigkeit der Driftgeschwindigkeit von der elektrischer Feldstärke erklärt werden. Die Feldstärke ist in den Ecken nämlich besonders gering [18].

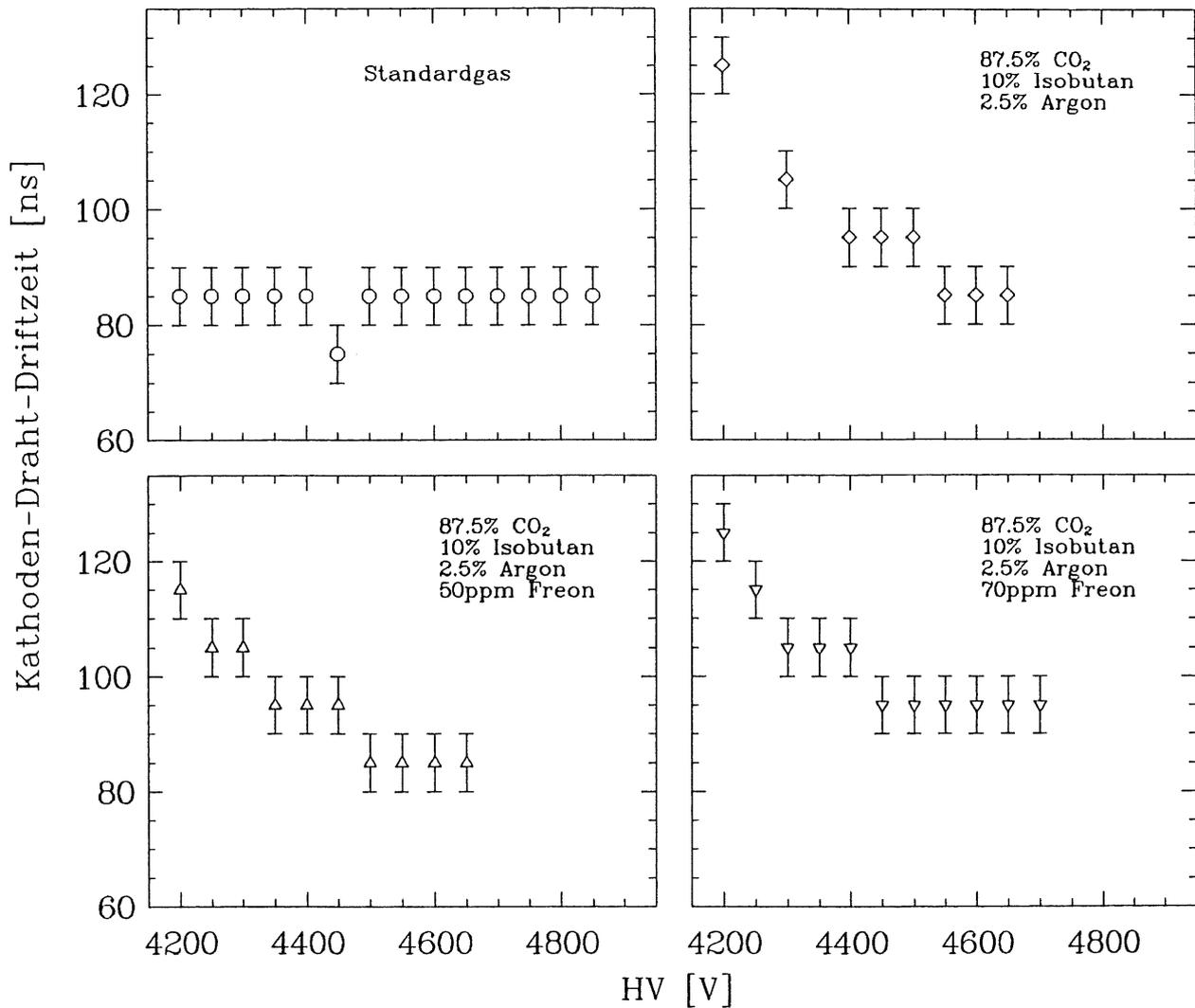


Abbildung 6.13: Die Kathoden-Draht-Driftzeit, ermittelt durch die Anzahl der Zeitscheiben, die 90% der Pulsmaxima enthalten, in Abhängigkeit von der Hochspannung

In den nächsten Abschnitten soll das Zeitverhalten von Nachpulsen untersucht werden, um die Ursachen des Nachpulsens zu klären. Dazu ist es nötig die mittlere Driftzeit zwischen Kathode und Draht abzuschätzen. Um nicht auf die extrem langen Driftzeiten und vereinzelt auftretenden frühen Pulse empfindlich zu sein, wurde deshalb die Zeitdauer bestimmt, in der 90% der Pulsmaxima registriert worden sind. Diese Zeitdauer sollte ungefähr die Driftzeit zwischen der Kathode und dem Draht sein, wenn man den Eckeneffekt nicht berücksichtigt. In Abbildung 6.13 sind die Kathoden-Draht-Driftzeiten, die sich mit der 90%-Bedingung ergeben für alle untersuchten Gase gegen die Betriebsspannung aufgetragen. Für Standardgas ergibt sich eine Driftzeit von 85ns unabhängig von der angelegten Spannung. Die Abtastfrequenz

des Flash-ADC's von  $100\text{MHz}$  bestimmt die Fehler der Driftzeit. Diese Zeit stimmt mit der von F. Gasparini et al. gemessenen maximalen Driftzeit von  $90\text{ns}$  überein [17].

Die Driftzeit von den nichtbrennbaren Gasmischungen ist von der Hochspannung abhängig. Im Bereich maximaler Nachweiswahrscheinlichkeit ergeben sich für die nichtbrennbaren Gase ohne und mit  $50\text{ppm}$  Freon auch eine Driftzeit von  $85\text{ns}$ . Für das nichtbrennbare Gas mit  $70\text{ppm}$  Freon ergeben sich bei Spannungen ab  $4450\text{V}$  Kathoden-Draht-Driftzeiten von  $95\text{ns}$ .

## 6.6 Die Zeitdifferenz zwischen primärem Puls und Nachpuls

In Abschnitt 6.3 ist gezeigt worden, daß es bei allen Gasen und Betriebsspannungen Mehrfachpulse auftreten. In diesem Abschnitt sollen die Zeitdifferenzen zwischen diesen Pulsen untersucht werden. Dazu werden die Differenzen der Zeitpunkte, die der "off-line"-Pulssucher (Anhang) den Pulsmaxima zuordnet, in Verteilungen eingetragen. Falls mehr als zwei Pulse auf einem Draht gefunden werden, werden die Zeitdifferenzen von jedem Puls zum jeweils nächsten Puls bestimmt.

Die Histogramme der Zeitdifferenzen für alle Gase und mehrere Hochspannungen befinden sich in Abbildung 6.14. Für das Standardgas und für die nichtbrennbaren Gase bei kleinen Spannungen sind kleine Zeitdifferenzen zwischen den Pulsen am wahrscheinlichsten. Die untere Grenze der Zeitdifferenz ist durch die Auflösung der Flash-ADC's und dem Algorithmus zur Doppelpulssuche gegeben und beträgt  $20\text{ns}$ . Bei den **nichtbrennbaren Gasen** steigt mit zunehmender Betriebsspannung der Anteil der Mehrfachpulse, die etwa  $100\text{ns}$  nach dem vorherigen Puls entstehen, an. Diese Zeitdifferenz ist etwas länger als die Kathoden-Draht-Driftzeit, die aus der Zeitverteilung der primären Pulse folgt. Das starke Anwachsen der mittleren Pulsanzahl, das mit wachsender Hochspannung auftritt (Abbildung 6.8), ist also wahrscheinlich auf Photonen zurückzuführen, die Elektronen aus der Kathode auslösen. Diese Elektronen können, nachdem sie von der Kathode zum Draht gedriftet sind, einen neuen Streamer auslösen. Die Zeitdifferenz zwischen primärem Puls und Nachpuls ergibt sich dann aus der Summe von Kathoden-Draht-Driftzeit und der Zeitdauer für die Streamerentwicklung.

Für das **Standardgas** wird dieser Effekt nicht beobachtet. Bei keiner Betriebsspannung gibt es bei Standardgas einen Peak bei etwa  $100\text{ns}$  in den Zeitdifferenz-Verteilungen. Das Fehlen der Nachpulse bei Standardgas kann durch den hohen Isobutananteil erklärt werden. Isobutan ist durch seine relativ komplizierte Struktur dazu in der Lage, Photonen eines weiten Energiebereichs zu absorbieren.

## 6.7 Nachpulsen auf den Nachbardrähten

Im Abschnitt 6.1 ist die Wahrscheinlichkeit untersucht worden mit der die Streamerrohrkammer den Durchgang von Teilchen anzeigt, also mit welcher Wahrscheinlichkeit mindestens

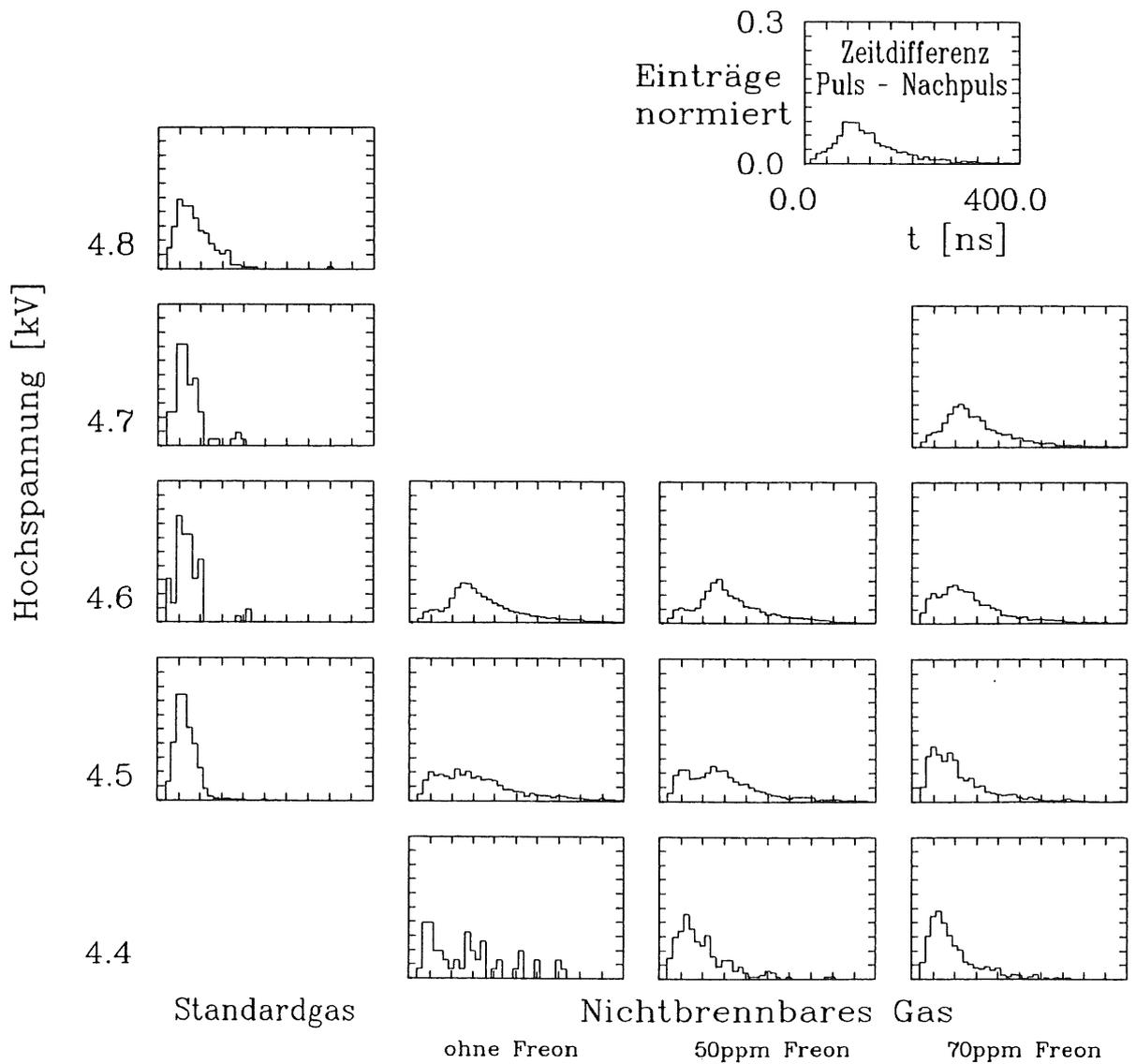


Abbildung 6.14: Häufigkeitsverteilungen der Zeitdifferenzen zwischen den Pulsen auf einem Draht für verschiedene Gase und Betriebsspannungen

ein Draht anspricht. In diesem Abschnitt wird untersucht, wieviele Drähte im Mittel ansprechen, unter der Voraussetzung, daß mindestens ein Draht angesprochen hat. Als Schwelle wird immer  $50mV$  gefordert.

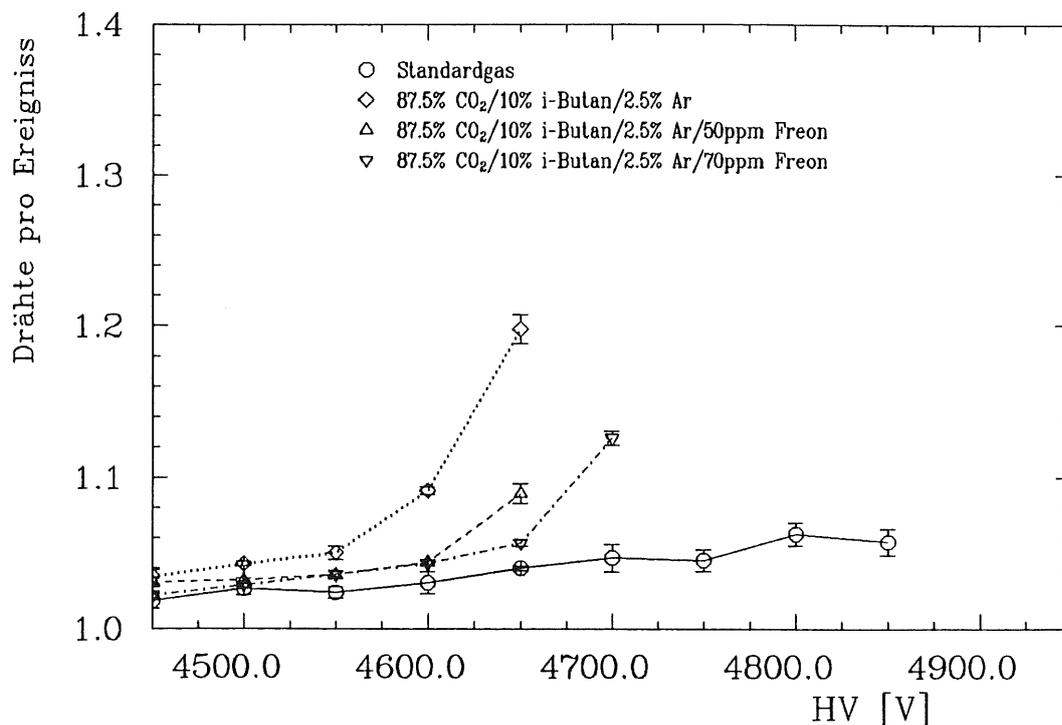


Abbildung 6.15: Mittlere Anzahl der Drähte mit Pulsen über  $50mV$  nach dem Schnitt gegen kosmische Schauer. Es muß mindestens ein Draht ansprechen.

In Abbildung 6.15 ist die mittlere Anzahl der angesprochenen Drähte für alle untersuchten Gase gegen die Betriebsspannung aufgetragen. Es sind nur Ereignisse berücksichtigt worden, die die Schnitte gegen kosmische Schauer erfüllen. Für das Standardgas wurde bereits in Abschnitt 6.2 gezeigt, daß es im Bereich hoher Nachweiswahrscheinlichkeit einen konstanten Untergrund an Ereignissen mit mehreren Drähten gibt. Für die **nichtbrennbaren Gase** kommt es im Bereich der maximalen Betriebsspannung nicht zu einer konstanten Anzahl von angesprochenen Drähten sondern zu einem signifikanten Anstieg. Dieser Anstieg ist nicht durch die steigende Nachweiswahrscheinlichkeit zu erklären. Die Nachweiswahrscheinlichkeit ist immer niedriger als beim Standardgas und  $4800V$ , die erreichte mittlere Drahtanzahl liegt aber deutlich höher. Um diesen Anstieg zu erklären wird die Messung des nichtbrennbaren Gases ohne Freon bei  $4650V$  näher betrachtet. In Abbildung 6.16 ist die Korrelation der räumlichen und zeitlichen Abstände zwischen dem ersten Puls des zuerst angesprochenen Drahtes und dem ersten Puls des zweiten angesprochenen Drahtes dargestellt. Dabei sind nur die Ereignisse mit genau zwei angesprochenen Drähten eingetragen worden. Die Schnitte gegen die kosmischen Schauer wurden nicht angewendet. Wie man sieht, gibt es Pulse auf den nächsten Nachbarn mit beliebigen Zeitdifferenzen und Pulse auf den übrigen Drähten nur mit kleinen Zeitdifferenzen. Letztere können durch kosmische Schauer erklärt werden, weil die maximale Zeitdifferenz etwa mit der Kathoden-Draht-Driftzeit von  $85ns$  (Abschnitt 6.5) übereinstimmt.

Um die zum großen Teil sehr späten Pulse auf den Nachbardrähten zu untersuchen, sind die

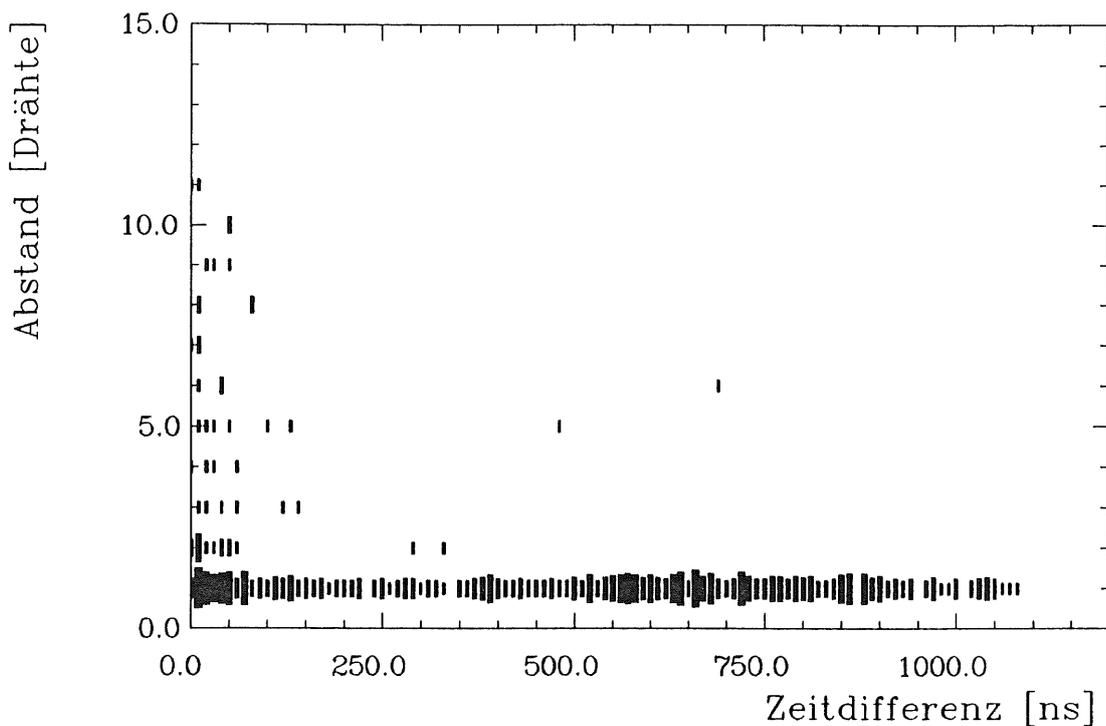


Abbildung 6.16: Korrelation zwischen der Zeitdifferenz und der Differenz der Drahtnummer für nichtbrennbares Gas ohne Freon bei 4650V

Pulshöhen des jeweils ersten Pulses auf dem ersten Draht (Abbildung 6.17A) und dem Nachbardraht (Abbildung 6.17B) in Histogramme eingetragen worden. Die Verteilungen zeigen den wahrscheinlichsten Wert bei der gleichen Pulshöhe. Bei dem Ansprechen der Nachbardrähte handelt es sich also um voll ausgebildete Streamerpulse und nicht um elektrisches Übersprechen.

Eine mögliche Erklärung für dieses Nachpulsen ist, daß Photonen des primären Streamers durch die Spalten, zwischen dem lose aufliegenden Deckel und dem Profil, dringen und in der Nachbarröhre einen neuen Streamer hervorrufen. Unterstützt wird diese Vermutung durch die Beobachtung, daß kein Übersprechen vom letzten Draht des einen Profils zum ersten Draht des anderen Profils auftritt.

In Abbildung 6.18 sind die Zeitdifferenzen zwischen dem ersten angesprochenen Draht und den Nachbardrähten für das Standardgas und das nichtbrennbare Gas ohne Freon dargestellt. Es sind dabei alle Ereignisse verwendet worden die den Schnitt gegen kosmische Schauer erfüllen. Bei beiden Gasen ist der Anteil der Ereignisse mit Zeitdifferenzen kleiner als die Kathoden-Draht-Driftzeit etwa gleich. Dieser Anteil ist auf schräge Spuren und auf Schauer, die zufällig nur eine zusammenhängende Gruppe von Drähten treffen, zurückzuführen. Beim **Standardgas** gibt es nur sehr wenige Pulse die eine größere Zeitdifferenz als die Kathoden-Draht-Driftzeit besitzen. Beim **nichtbrennbaren Gas** dagegen haben die meisten Einträge eine Zeitdifferenz, die weit oberhalb der Kathoden-Draht-Driftzeit liegt.

Auch diese extrem hohen Zeitdifferenzen die bei dem nichtbrennbaren Gas auftreten, stimmen mit dem oben beschriebenen Modell zur Entstehung der Nachpulse auf den Nachbardrähten

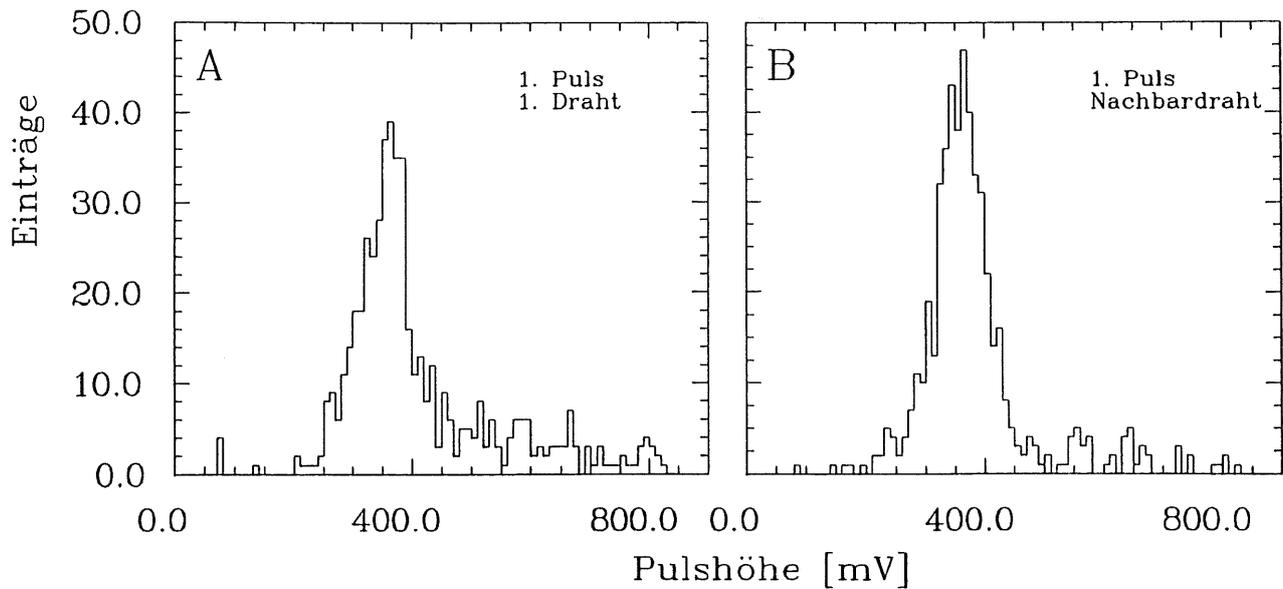


Abbildung 6.17: Die Pulshöhen für nichtbrennbares Gas ohne Freon und 4650V. Es wurden nur Ereignisse eingetragen, bei denen auch ein Nachbardraht des jeweils frühesten Drahtes anspricht.

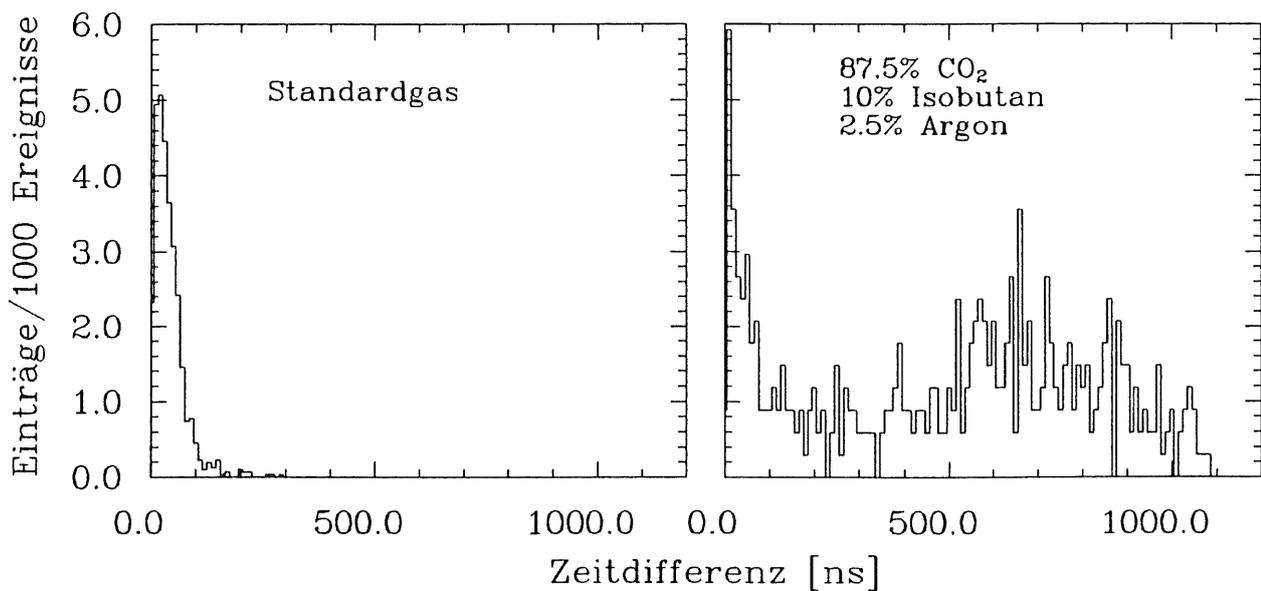


Abbildung 6.18: Zeitdifferenz zwischen erstem Drahtpuls und erstem Puls auf einem Nachbardraht bei einer Betriebsspannung 4650V

überein. Elektronen, die genau in der Kammerecke ausgelöst werden, haben die längste mögliche Driftstrecke bei dem kleinsten möglichen Feld zurückzulegen [18]. Dies führt beson-

ders wegen der starken Abhängigkeit zwischen der Driftgeschwindigkeit und der Feldstärke in Kohlendioxid zu hohen Zeitdifferenzen [19][20].

Obwohl das Nachpulsen auf den Nachbardrähten sofort bei Erreichen des Nachweiswahrscheinlichkeits-Plateaus einsetzt, wird es für den H1-Detektor keine große Bedeutung haben: Bei der Digitalen Auslese fallen die Nachpulse in falsche Zeitscheiben und werden dadurch weitgehend unterdrückt und bei der Auslese der Pads werden die Nachpulse auf dem gleichen Draht die gemessene Ladung dominieren.

## 6.8 Der Einfluß von Druck und Temperatur auf die Streamerladung

Bei allen Messungen sind die Streamerrohre unter mehr oder weniger großen Temperaturen und Drücken betrieben worden. In diesen Abschnitt soll die Abhängigkeit der Streamerladung von der Dichte des Gases untersucht werden.

Die thermische Zustandsgleichung für ein ideales Gas lautet:

$$pV = NkT$$

Für die Dichte idealer Gase folgt daraus:

$$\rho \sim \frac{p}{T}$$

Im folgenden wird angenommen, daß diese Beziehung auch für die Gase in den Streamerrohren gilt. Für relative Änderungen der Gasdichte gegenüber der normalen Gasdichte  $\rho_0$  folgt:

$$\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = \frac{p}{T} \cdot \frac{T_0}{p_0} - 1$$

Wobei für den Normaldruck  $p_0 = 1013hPa$  und die Normaltemperatur  $T_0 = 295K \approx 22^\circ C$  eingesetzt wurde

Die Temperatur und der Druck sind am Anfang und am Ende jeder Messung abgelesen und aufgeschrieben worden. Eine kontinuierliche Überwachung erfolgte nicht. Die relative Dichte ist aus den Mittelwerten von Temperatur und Druck bestimmt worden. Die Fehler der Dichten wurden mit folgender Formel berechnet:

$$\frac{\sigma_\rho}{\rho_0} = \sqrt{\frac{1}{T_0^2} \cdot \left( \frac{1^\circ}{2} C + \frac{|\Delta T|}{2} \right)^2 + \frac{1}{p_0^2} \cdot \left( \frac{1}{2} hPa + \frac{|\Delta p|}{2} \right)^2}$$

Die geschätzten Ablesefehler des Barometers und des Thermometers sind  $\frac{1}{2}hPa$  bzw.  $\frac{1}{2}^\circ C$ . Die Differenzen von Druck und Temperatur vor und nach Messung geben die Werte für  $\Delta p$  bzw.  $\Delta T$ .

Die Abhängigkeit zwischen der Dichte und der Ladung ist in Abbildung 6.19 dargestellt. Der Fehler der Ladung ist meistens in der Größenordnung von 0.5% und in jedem Fall kleiner als

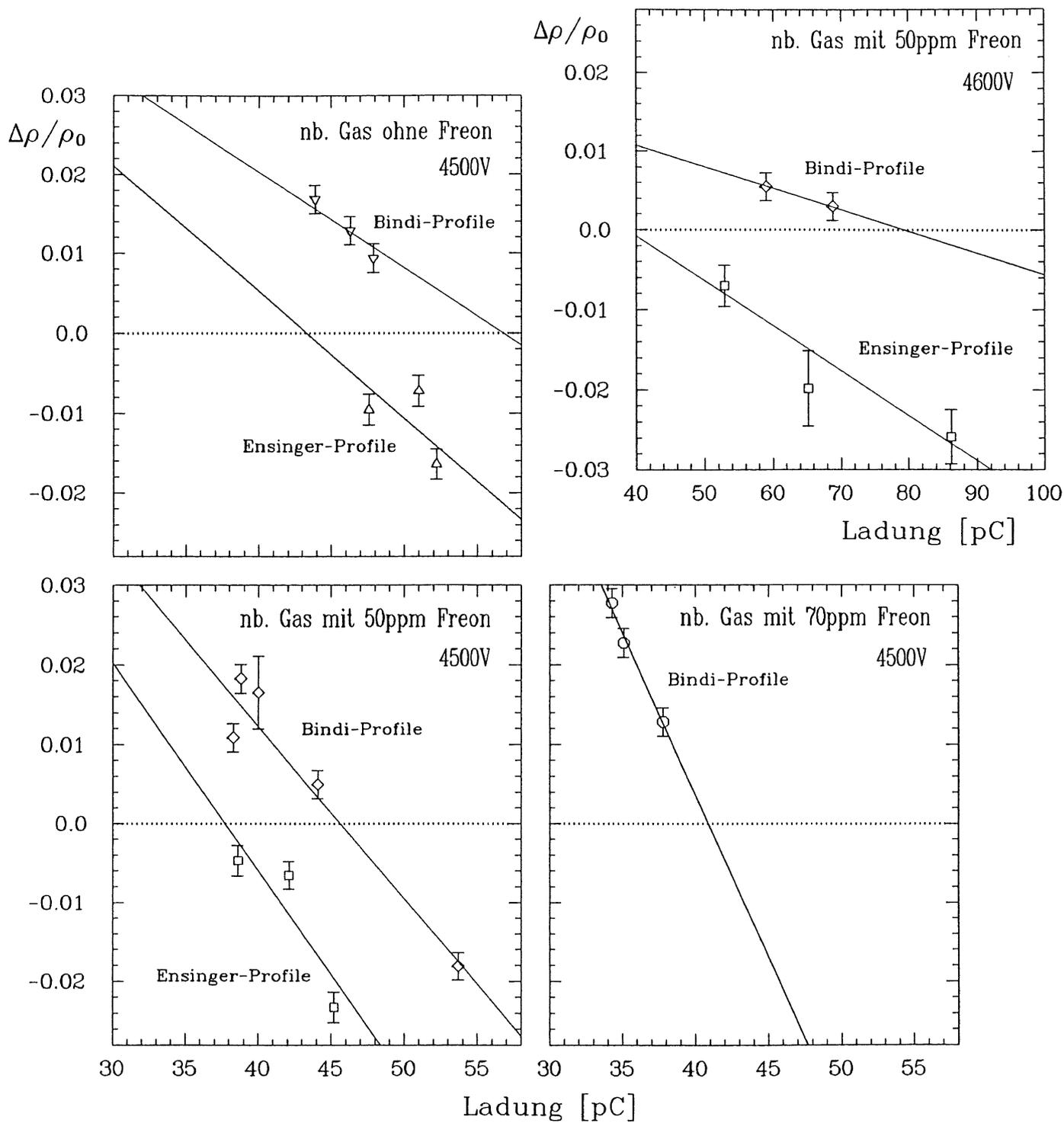


Abbildung 6.19: Die Abhängigkeit der Streamerladung von der Dichte für die nichtbrennbaren Gase

2%. Da der Fehler damit meistens kleiner ist als die zur Darstellung verwendeten Symbole, wurden keine Fehlerbalken in X-Richtung verwendet. Auch für die Anpassung der Geraden

wurde nur der Fehler der Dichte berücksichtigt. Beim Auftragen der Dichte gegen die Ladung ist zum ersten Mal der Unterschied zwischen Bindi- und Ensinger-Profilen aufgefallen. Die Ladungen waren in den meisten Fällen weitgehend gleich, aber die Dichten der Kammergase unterschiedlich gewesen. Die durchweg höhere Dichte während der Meßreihen mit den Bindi-Profilen ist darauf zurückzuführen, daß diese Meßreihen im Winter gemacht wurden. Die Temperatur in Labor lag im Mittel bei  $21^{\circ}\text{C}$  während die Messungen mit den Ensinger-Profilen im Mai bei einer mittleren Temperatur von ca.  $25^{\circ}\text{C}$  im Labor stattfanden. Die sich daraus ergebende Differenz der Dichte hat den Unterschied zwischen Bindi- und Ensinger-Profilen weitgehend kompensiert.

Um die Abhängigkeit quantitativ zu beschreiben, sind an diese Meßwerte Geraden angepaßt worden. Weil nur sehr wenige Meßwerte vorliegen, ist es wichtig, die Anzahl der anzupassenden Parameter möglichst klein zu halten. Darum ist für jede Gasmischung nur eine Steigung bestimmt worden, während für jede Gas- und Profilkombination die Ladung unter Normbedingungen  $Q_0$  angepaßt worden ist. Die Liste der Ergebnisse ist in Tabelle 6.1 gegeben. Die Empfindlichkeit der Streamerladung gegenüber Dichteschwankungen  $\frac{dQ}{d\rho} \cdot \frac{\rho_0}{Q_0}$  ergibt sich, wenn man die relative Ladungsänderung durch die relative Dichteänderung teilt.

Gas	Profil	Hochspannung	Ladung u. Normbed.	Empfindlichkeit
ACI	Bindi	4500V	56.7pC $\pm 4.0pC$	-14.6 $\pm 4.3$
ACI	Ensinger	4500V	43.3pC $\pm 1.9pC$	-14.6 $\pm 4.3$
F50	Bindi	4500V	45.6pC $\pm 0.4pC$	-10.1 $\pm 0.6$
F50	Ensinger	4500V	37.7pC $\pm 0.4pC$	-10.1 $\pm 0.6$
F70	Bindi	4500V	40.9pC $\pm 0.9pC$	-6.0 $\pm 0.9$
F50	Bindi	4600V	79.4pC $\pm 8.6pC$	-46.1 $\pm 16.1$
F50	Ensinger	4600V	38.6pC $\pm 6.1pC$	-46.1 $\pm 16.1$

ACI: Nichtbrennbares Gas ohne Freon      F50: Nichtbrennbares Gas mit 50ppm Freon

F70: Nichtbrennbares Gas mit 70ppm Freon

Empfindlichkeit: Die relative Ladungsänderung durch die relative Dichteänderung  $\frac{dQ}{d\rho} \cdot \frac{\rho_0}{Q_0}$

Tabelle 6.1: Ergebnisse der Anpassung einer Geraden an die Dichte-Ladungs-Meßwerte

Die Empfindlichkeit gegenüber Schwankungen der Gasdichte ist bei 4600V viel größer als bei 4500V. Die Empfindlichkeit gegenüber Temperaturänderungen ist auch von S. Cartwright et al. an SLD-Streamerrohrkammern mit dem nichtbrennbaren Gas ohne Freon gemessen worden [21]. Im Arbeitspunkt betrug der Wert  $7.5 \pm 0.5$ , und ist mit diesem Ergebnis für 4500V vertäglich. Auch die Abhängigkeit von der Streamerrohrbeschaffenheit, die sich in der Ladung unter Normalbedingungen äußert, ist bei 4600V viel größer als bei 4500V. Bei 4500V zeigen die Bindi-Profile 20—30% mehr Ladung als die Ensinger-Profile, während sie bei 4600V doppelt so viel Ladung wie die der Ensinger-Profile produzieren. Die starke Abhängigkeit der Ladung von der Profil-Beschaffenheit und von der Gas-Dichte bei 4600V kann durch das Einsetzen des Nachpulsens bei dieser Spannung erklärt werden (siehe Abbildung 6.8). Geringe Änderungen des Arbeitspunktes können große Änderungen der mittleren Pulsanzahl und damit der Ladung hervorrufen.

Dieselbe Auswertung ist für das Standardgas versucht worden. Da allerdings nur maximal zwei Meßwerte gleicher Betriebsspannung bei sehr ähnlichen Dichten vorliegen, lassen sich

keine vernünftigen Aussagen machen.

Mit den in diesem Abschnitt gewonnenen Daten kann man die Streamerladungen für einige Hochspannung-Gas-Kombinationen auf die verschiedenen Gasdichten korrigieren. Eine Übertragung auf andere Betriebsspannungen scheint wegen des großen Unterschiedes in den Parametern bei 4500V und 4600V nicht sinnvoll. Weil für die meisten Messungen daher keine geeigneten Parameter vorliegen, wurde auf eine Korrektur der Streamerladungen verzichtet.

# Zusammenfassung

Es wurden Messungen mit dem Standardgas (75% Isobutan, 25% Argon) und einem nichtbrennbaren Gas (87.5%  $CO_2$ , 10% Isobutan, 2.5% Argon) an H1-Streamerrohrkammern aus LURANYL durchgeführt und die Ergebnisse miteinander verglichen. Außerdem wurde untersucht, ob sich die Eigenschaften des nichtbrennbaren Gases durch einen Freonanteil von 50ppm bzw. 70ppm verbessern lassen. Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

Mit dem **Standardgas** erhält man bei einer Schwelle von 20mV ein breites Plateau in der Nachweiswahrscheinlichkeit. Bei einem Arbeitspunkt von 4700V am Anfang des Plateaus ergibt sich eine mittlere Ladung von 40pC als Antwort auf ein minimal ionisierendes Teilchen. Die Nachweiswahrscheinlichkeit in diesem Punkt beträgt 92% und ist mit der geometrischen Obergrenze verträglich. Die relative Breite der Ladungsverteilung ist 58%. Die mittlere Anzahl der Pulse auf einem Draht ist 1.03. Ein Übersprechen auf die Nachbardrähte konnte nicht festgestellt werden. Es gibt also einen Arbeitsbereich, der eine gute Nachweiswahrscheinlichkeit und gleichzeitig eine relativ hohe Stabilität gegen Schwankungen in den Betriebsbedingungen hat.

Mit dem **nichtbrennbarem Gas ohne Freon** reicht das Plateau in der Nachweiswahrscheinlichkeit beim Betrieb der H1-Streamerrohre nur von 4600V bis 4650V bei einer Nachweiswahrscheinlichkeit von 90%. Bei 4700V brach bereits die Hochspannung in der Testkammern zusammen. Es ist daher zu befürchten, daß einige der H1-Streamerkammern, die ja nur mit Standardgas getestet werden, diese Betriebsspannung beim nichtbrennbaren Gas nicht erreichen. Außerdem setzt bei einer Betriebsspannung von 4600V schon das Nachpulsen ein. Im Mittel werden bei dieser Spannung 1.9 Pulse auf jedem angesprochenen Draht beobachtet. Dies führt zu einer breiten Ladungsverteilung und zu einer großen Abhängigkeit von Druck und Temperatur. Es tritt auch ein Übersprechen auf die Nachbardrähte auf.

Wegen dieser Eigenschaften des nichtbrennbaren Gases sollte eher ein Arbeitspunkt bei einer niedrigeren Spannung, z.B. 4500V, gewählt werden. Die Nachweiswahrscheinlichkeit ist dann nur noch 84% bei einer Schwelle von 20mV, die mittlere Ladung 50pC und die relative Breite der Ladungsverteilung 56%. Die mittlere Anzahl der Pulse pro Draht ist mit 1.15 immer noch etwas höher als beim Standardgas. Durch Zugabe von 50ppm **Freon** kann das Nachpulsen weiter reduziert und die Stabilität gegen Druck- und Temperaturänderungen erhöht werden, ohne die Nachweiswahrscheinlichkeit zu vermindern.

# Anhang A

## Die Suche nach Mehrfachpulsen

Die vom "on-line"-Pulsfindalgorithmus abgespeicherten Flash-ADC-Daten werden auf der DESY-IBM nochmal einer Pulsanalyse unterzogen. Der dazu entwickelte Algorithmus sollte auch Pulse, die sich überlagern, erkennen können. Als Untergrund wird eine lineare Funktion verwendet, um auch auf den Flanken eines Pulses einen in grober Näherung richtigen Untergrund zu bekommen.

Das Suchen eines Pulses erfolgt bei dem verwendeten Programm in zwei Schritten, zuerst wird eine geeigneter Anfangs-Zeitscheibe  $s_i$  bestimmt.

Als Anfangs-Zeitschritt wird folgender Wert genommen:

- Der Pedestalwert einen Schritt vor dem abgespeicherten Bereich, wenn die Doppelpulsuche beginnt. Dies ist nötig, weil der erste abgespeicherte Flash-ADC-Wert häufig schon eine beträchtliche Höhe hat.
- Das erste Minimum nach einem zuvor erkannten Puls.
- Einen Wert  $s_f$ , falls er die Bedingung,  $Q_{Puls}(s_f) < -5pC$  erfüllt. Diese Bedingung verhindert, daß die Doppelpulssuche nach einem nicht akzeptierten "kleinen Knuppel" einem zu hohen Anfangswert beibehält und deshalb keine weiteren Pulse mehr findet.

Im zweiten Schritt wird für die folgenden Zeitscheiben  $s_f$  nacheinander eine Ladung  $Q(s_i, s_f)$  bestimmt. Diese Ladung ergibt sich, wenn man die Fläche unter dem Puls im Bereich von  $s_i$  bis  $s_f$  bestimmt, und davon von dem Untergrund abzieht. Der Untergrund ist dabei als gerade Verbindung von  $(s_i, h_{s_i})$  und  $(s_f, h_{s_f})$  angenommen worden (siehe auch Abbildung A.1).

Damit ergibt sich folgende Formel für die Ladung:

$$Q(s_i, s_f) = \frac{t_{Step}}{R \cdot K_{Eich}} \cdot \left( \sum_{i=s_i}^{s_f} h_i - \frac{1}{2} \cdot (h_{s_i} + h_{s_f}) \cdot (s_f - s_i + 1) \right)$$

- mit  $t_{Step} = 10ns$  : Zeit zwischen zwei Digitalisierungen  
 $K_{Eich}$  : Eichkonstante des jeweiligen Auslesekanals  
 $R$  : Auslewewiderstand der Drähte  
 $s_i$  : Zeitscheibe des Pulsanfanges  
 $s_f$  : Zeitscheibe des Pulsendes  
 $h_i$  : Ergebnis der i-ten Digitalisierung

Sobald die erste dieser Ladungen größer als die Ladungsschwelle von  $5pC$  ist, wird ein Puls registriert und es beginnt die Suche nach dem nächsten Puls.

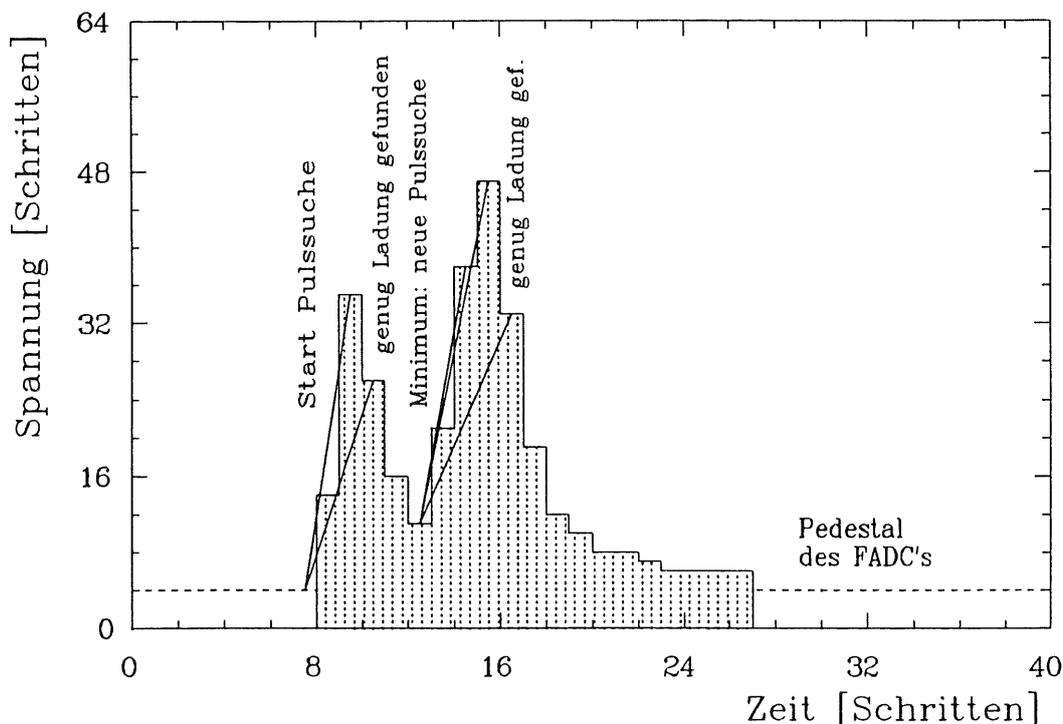


Abbildung A.1: Ein Beispiel für die Suche nach Mehrfachpulsen

In Abbildung A.1 ist die Bestimmung eines Doppelpulses nachvollzogen worden. Die Suche des ersten Pulses beginnt mit dem Pedestalwert einen Schritt vor den gespeicherten Zeitscheiben. Für die zwei nachfolgenden Zeitscheiben wird die Fläche über dem Untergrund bestimmt. Bei dem zweiten Zeitschritt ist die Fläche hinreichend groß und der Puls wird registriert. Die anschließende Suche nach dem neuen Startwert ist bei dem Minimum zwischen den Pulsen erfolgreich, und das gleiche Verfahren beginnt von neuem.

Während der Suche nach den Pulsen wird die größte Pulshöhe zwischen zwei bzw. nach der letzten Anfangs-Zeitscheibe bestimmt. Wird ein Puls erkannt, so wird diese Pulshöhe auf das Pedestal des Flash-ADC's korrigiert und gespeichert. Außerdem wird der Zeitpunkt bestimmt, bei dem das Maximum aufgetreten ist. Haben mehrere Zeitscheiben denselben maximalen Spannungswert, so wird der Mittelwert dieser Zeitscheiben als Zeitpunkt des Maximums betrachtet.

# Literaturverzeichnis

- [1] G. Wolf; *HERA : Physics, Machine and Experiments*; DESY 86-089, Hamburg 1986
- [2] H1 Collaboration; *Technical Progress Report 1989*; August 1989
- [3] H1 Calorimeter Group *Results from a Test of a Liquid Argon Calorimeter*; DESY 89-022, February 1989
- [4] H1 Collaboration; *Technical Proposal for the H1 Detector*; 1986
- [5] S. Cartwright et al.; *A study of non-flammable Ar-CO<sub>2</sub>-hydrocarbon gas mixtures for limited streamer tubes*; Nucl. Instr. and Meth. A277 (1989) 269.
- [6] M. Atac et al.; *Self-quenching streamers*; Nucl. Instr. and Meth. 200 (1982) 345.
- [7] T. Uebayashi et al.; *A study of non-flammable gas mixtures for limited streamer tubes in the VENUS detector at TRISTAN*; Nucl. Instr. and Meth. A265 (1988) 457.
- [8] G. Batistoni et al.; *Resistive cathode transparency*; Nucl. Instr. and Meth. 202 (1982) 459.
- [9] N.A. Filatova et al.; *Operation of plastic streamer tubes with high resistivity varnish*; Nucl. Instr. and Meth. A243 (1986) 91.
- [10] C. Kleinwort; *Diplomarbeit: Untersuchungen zur Auslese einer Driftkammer mit ultraschnellen Analog-Digital-Umsetzern (Flash-ADC) und unmittelbar erfolgreicher Datenreduktion*; Hamburg 1984
- [11] R. Willimek; *Diplomarbeit: Untersuchungen zur Padauslese von Streamerrohren*; Wuppertal 1989
- [12] Balzer; *Bedienungsanleitung für das Quadrupol-Massenspektrometer QMA 112*
- [13] W. Paul et al.; *Das elektrische Massenfilter als Massenspektrometer und Isotopentrenner*; Z. Phys. , 152 (1958), S. 143—182
- [14] Brunnée-Voshage; *Massenspektrometrie*; Verlag Karl Thiemig, München
- [15] W. Große Bley; *Quantitative Gasanalyse mit dem Quadrupol-Massenspektrometer: Möglichkeiten und Grenzen*; Vakuum-Technik 38.Jahrgang Heft 1-2/1989
- [16] C. Püst; *Diplomarbeit: Untersuchung einer nichtbrennbaren Gasmischung für Streamerrohrkammern*; Hamburg 1989

- [17] F. Gasparini et al.; *Drift time measurements in limited streamer tubes*; CERN-EP/87-144
- [18] T. Tomitani; *Analysis of potential distribution in a gaseous counter of rectangular cross-section*; Nucl. Instr. and Meth. 100 (1972) 179.
- [19] G. Schultz et al.; *A study of transport coefficients of electrons in some gases used in proportional and drift chambers*; Nucl. Instr. and Meth. 151 (1978) 413.
- [20] D.M. Binnie; *Drift and diffusion of electrons in Argon/CO<sub>2</sub> mixtures*; Nucl. Instr. and Meth. A234 (1985) 54.
- [21] S. Cartwright et al.; *A Non-Flammable Gas Mixture for Plastic Limited Streamer Tubes*; SLD Note 185
- [22] A.C. Benvenuti et al.; *The limited streamer tubes of the SLD*; SLAC-PUB-4993, Oktober 1989
- [23] M. Ellila et al.; *Limited streamer mode detectors for mass production*; DELPHI 87-109 CAL 54

# Danksagung

Bei Herrn Prof. Dr. G. Heinzelmann bedanke ich mich für die Aufgabenstellung und die aufmerksame Betreuung.

Allen Mitarbeitern der DESY-Forschungsgruppe F22, und besonders dem Leiter der Gruppe, Herrn Prof. Dr. R. Felst, danke ich für die freundliche Aufnahme und Unterstützung meiner Arbeit.

Außerdem möchte ich mich auch bei Herrn Dr. R. Ramcke, Herrn J. Martens und Herrn C. Püst für die gute Zusammenarbeit und die Bereitschaft alle Probleme zu diskutieren bedanken.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn C. Falland für die Ermöglichung der Gasanalyse.

Ich versichere, diese Arbeit unter Angabe aller wesentlichen Quellen und Hilfsmittel selbstständig angefertigt zu haben.