

**Testmessungen
an Streamerrohrkammern
des H1 Detektors**

**I. P H Y S I K A L I S C H E S I N S T I T U T
D E R
R H E I N . W E S T F . T E C H N . H O C H S C H U L E A A C H E N**

**Testmessungen
an Streamerrohrkammern
des H1 Detektors**

von

Ruth Krieg

Diplomarbeit in Physik
vorgelegt der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule
Aachen

im Oktober 1990

angefertigt im

I. Physikalischen Institut
Lehrstuhl für Experimentalphysik I B

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Das H1-Experiment	3
2.1	Der Beschleuniger HERA	3
2.2	Der H1-Detektor	4
2.2.1	Der Zentraldetektor	4
2.2.2	Elektromagnetischen Rückwärtskalorimeter	4
2.2.3	Ein Flüssig-Argon Kalorimeter	4
2.2.4	Das Rückflußjoch	4
2.2.5	Das 'Plug' Kalorimeter	7
2.2.6	Vorwärts Myon Spektrometer	7
2.3	Das instrumentierte Eisen des H1-Detektors	7
3	Die H1-Streamerrohrkammern	11
3.1	Die Geometrie der Kammern ...	11
3.2	..und wie sie funktionieren sollen	12
3.2.1	Der Streamermechanismus	12
4	Der Test der Kammern	16
4.1	Zielsetzung	16
4.2	Der Testaufbau	17
4.3	Die Betriebsparameter	17
4.4	Das Gassystem	20
4.5	Die Datennahme	23
4.5.1	Das Strommeßgerät	23
4.5.2	Die digitale Elektronik	23
4.5.3	Die analoge Elektronik	25
4.5.4	Das Ausleseprogramm	25
4.5.5	Die Triggerschaltung	27
5	Charakteristika einer H1-Streamerrohrkammer	28
5.1	HV-Zählratenkurven	28
5.2	Kammerstrom	31
5.3	Ladungsspektren	31
5.4	Nachweiswahrscheinlichkeit	33
6	Ergebnisse	37
6.1	Die Auswertung	37
6.1.1	Der Kammerstrom	37
6.1.2	Die Ladungsspektren	42
6.1.3	Zusammenhang zwischen Ladungspuls und Kammerstrom	42
6.1.4	Nachweiswahrscheinlichkeit	47
6.2	Besonderheiten	50
7	Zusammenfassung	59

A Anhang	60
A.1 Das Datennahmeprogramm der Anodenströme	60
A.2 Die Kammern, die im Test waren	60
A.3 Stromverläufe aller Profile an einem Tag	60
A.4 Ladungsspektren aller Profile	60
Liste der Abbildungen	74
Liste der Tabellen	75
Literaturverzeichnis	76
Danksagung	78
Darstellung des Bildungsganges	79

1 Einleitung

Die Hadron-Elektron-Ringanlage (HERA) soll Mitte 1991 in Hamburg am Deutschen Elektron Synchrotron in Betrieb genommen werden. Mit HERA kann die Struktur von Elektronen und Quarks bis zu einem Abstand von $3 \cdot 10^{-18}$ cm erforscht werden. Die Idee ist, die punktförmigen Elektronen als Sonde zur Untersuchung der Protonen zu benutzen. Natürlich möchte man auch neue Teilchen finden, die dazu beitragen die Vorstellung über den Aufbau der Materie zu festigen. Es besteht die Möglichkeit, Teilchen (z.B. top-Quark, Leptoquarks und Leptogluonen, supersymmetrische Teilchen, Higgsboson und vieles mehr), falls sie existieren, bis zu Massen der Größenordnung 100 GeV, zu finden [1].

Für diese Anlage sind zwei Detektoren geplant und in der Aufbauphase. Der eine nennt sich Zeus, der andere H1.

Die Physikalischen Institute der RWTH Aachen beteiligen sich am Bau und der Entwicklung einiger Komponenten des H1-Detektors. Die größten Komponenten des H1-Detektors sind:

- Die zentralen Spurkammern zur Messung des Impulses geladener Teilchen im Magnetfeld einer supraleitenden Spule.

- Das Flüssig-Argon-Kalorimeter zur Messung des Energieflusses von Elektronen und Jets.

- Die Instrumentierung des Eisenrückflußjochs.

Das sogenannte *instrumentierte Eisen* soll dem Myonnachweis dienen und zum anderen die aus dem Hadronkalorimeter austretende Restenergie messen.

Insbesondere ist das I.Physikalische Institut bei der Entwicklung und dem Bau der H1-Streamerrohrkammern, mit denen das Eisen instrumentiert werden soll, beteiligt.

Ausgehend von den Iarocchikammern [2] wurde eine Streamerrohrkammer aus einem neuen Kunststoff (Luranyl) von BASF entwickelt. Die H1-Streamerrohrkammern wurden in Aachen entworfen, gebaut und auch dort getestet.

Um der Massenproduktion der Kammern gerecht zu werden, wurde in der Experimentierhalle der Physikalischen Institute der RWTH Aachen ein Produktionsfließband aufgestellt. Insgesamt müssen 6441 Kammern in verschiedenen Längen hergestellt werden, um den H1-Detektor über den gesamten Raumwinkel mit 16 Streamerrohrkammerebenen zu bestücken. Die Endstation jeder Kammer im Produktionsablauf ist der Serienteststand, wo jede drei Tage auf Hochspannungsbeständigkeit überprüft wird. Außerdem werden Drahtladungsspektren und Anodenströme aufgezeichnet, die einen Eindruck über die Qualität der Kammern vermitteln. Eine genauere Qualitätskontrolle liefert ein *Langzeittest*, den eine stichprobenartig aus der Produktion ausgewählte Menge von Kammern mitmacht. Ungefähr 2 % der Gesamtproduktion sollen am Ende im Langzeittest sein. Hier werden *Drahtladungsspektren, Anodenströme und Nachweiswahrscheinlichkeiten* der Kammern über viele Monate hinweg bestimmt. Daraus erhofft man ein Bild über die Verschiedenheit der einzelnen Kammern zu erhalten und auch den Einfluß längerer Betriebsdauer auf die Kammern zu erkennen. Mit dieser Absicht entstand diese Arbeit, die sich mit den Eigenschaften der Streamerrohrkammern in einem *Langzeittest* beschäftigt.

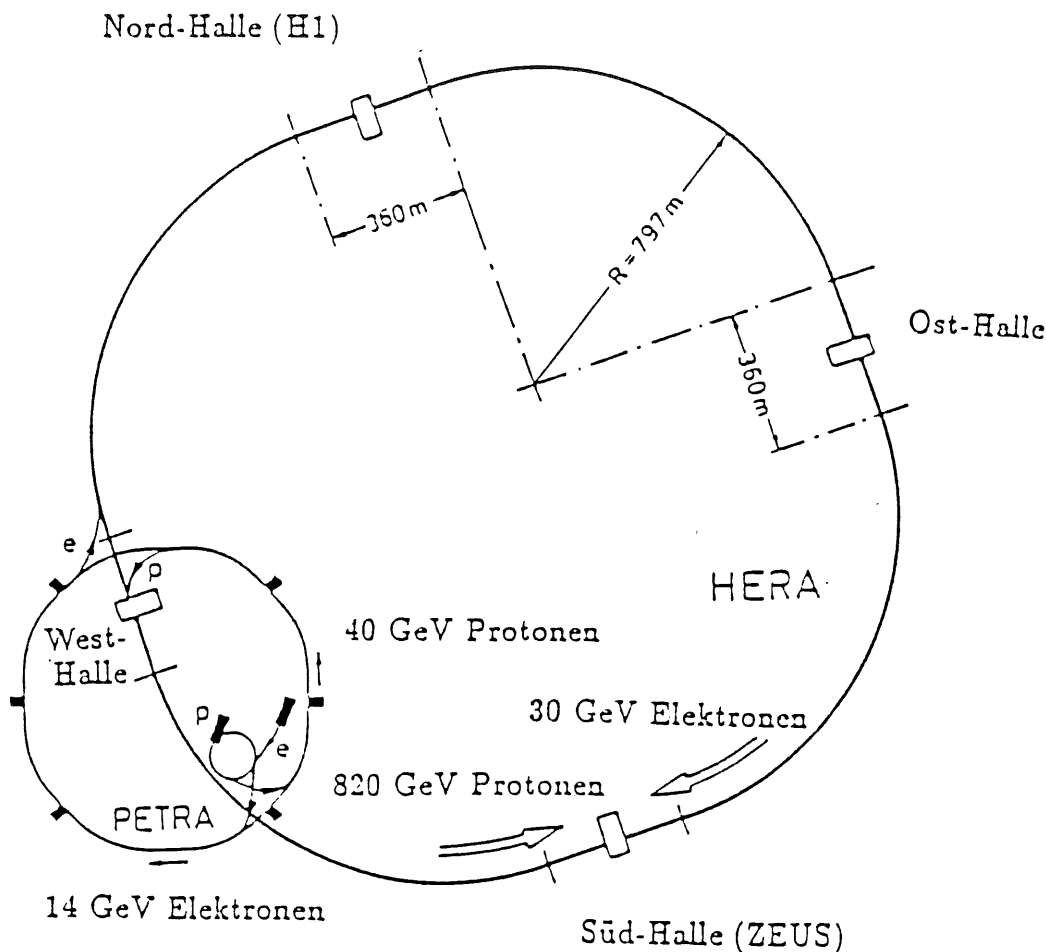


Abbildung 1: Skizze der Hadron-Elektron-Ringanlage. In der Nordhalle wird das H1-Experiment aufgebaut.

2 Das H1-Experiment

2.1 Der Beschleuniger HERA

Seit 1984 befindet sich am DESY¹ in Hamburg der Elektron-Proton Speicherring HERA² in Bau. In diesem Speicherring sollen Elektronen mit einer Energie von 30 GeV und Protonen mit einer Energie von 820 GeV gespeichert und an vier Wechselwirkungszone zur Kollision gebracht werden. Die Schwerpunktsenergie beträgt somit $\sqrt{s} = 314$ GeV. Zwei Experimente sind für HERA vorgesehen: *H1* und *ZEUS*. Abbildung 1 zeigt die Anordnung von HERA [3]. Hera hat eine Gesamtumfang von 6.3 km und liegt 15 bis 20 m unter der Erde. Im Südwesten der Ringanlage befinden sich die vorhandenen Speicherringe DESY und PETRA. Beide sind als Vorbeschleuniger für HERA umgerüstet worden. Die Elektronen und Protonen treten mit einer aus den Vorbeschleunigern gewonnenen Energie, 14 GeV für die Elektronen bzw. 40 GeV für die Protonen, in HERA ein.

¹Deutschen Elektronen SYNchrotron

²Hadron Elektron Ring Anlage

2.2 Der H1-Detektor

Der H1-Detektor ist für eine der vier Wechselwirkungszone vorgesehen. Bei der Kollision von Protonen und Elektronen hoher Energie entsteht eine Vielzahl neuer Teilchen, die vom Wechselwirkungsort radial nach außen laufen.

Abbildung 2 zeigt den gesamten H1-Detektor. Die Nummern beziehen sich auf die einzelnen Detektorkomponenten.

Der Detektor ist so konzipiert, daß er den Kollisionort nahezu vollständig umschließt, damit möglichst alle Teilchen nachgewiesen werden können. Da das Schwerpunktsystem der beiden Reaktionpartner sich in Protonrichtung bewegt, ist der Detektor nicht symmetrisch um den Kollisionpunkt angeordnet, sondern deckt bevorzugt die Vorwärtsrichtung des Protons ab.

Der Detektor ist in mehreren Schichten aufgebaut, von denen jede wiederum eine eigenständige Detektorkomponente darstellt. Jede dieser Schichten mißt ganz spezielle Eigenschaften der sie durchdringenden Teilchen.

Eine große supraleitende Magnetspule (Durchmesser 6 m) erzeugt ein zum Strahlrohr paralleles, im Zentralbereich nahezu homogenes Magnetfeld von 1.2 Tesla.

Im Inneren der Spule befinden sich von innen nach außen folgende Detektorkomponenten:

2.2.1 Der Zentraldetektor

Der Zentraldetektor umschließt das Strahlrohr. Er ist in die zentrale Spurenkammer und die Vorwärts-Spurenkammer unterteilt. Aufgrund der stark unterschiedlichen Energien von Elektron und Proton, werden viele Teilchen in Vorwärtsrichtung erwartet. Diese Kammern dienen der Messung des Impulses geladener Teilchen aus der Spurkrümmung im Magnetfeld. Umgeschlossen werden sie vom:

2.2.2 Elektromagnetischen Rückwärtskalorimeter

Die Erkennung und Energiemessung von Elektronen und Photonen in Rückwärtsrichtung übernimmt ein Blei-Szintillator-Sampling-Kalorimeter. Eingebettet ist das BEMC³ in:

2.2.3 Ein Flüssig-Argon Kalorimeter

Dort wird die Energie der elektromagnetischen und hadronischen Teilchenschauer nachgewiesen. Es handelt sich um ein Sampling Kalorimeter, das schichtweise aus Blei (für den elektromagnetischen Schauer) bzw. aus Stahl (für den hadronischen Schauer) und aus Flüssig-Argon besteht. Tabelle 1 gibt die wichtigsten Parameter der beiden Flüssig-Argon-Kalorimeter an.

Außerhalb der Spule schließt sich

2.2.4 Das Rückflußjoch

an. Es ist mit den *H1-Streamerrohrkammern* bestückt und wird daher auch als instrumentiertes Eisen bezeichnet. Die produzierten Myonen können das Detektormaterial bei entsprechender Energie nahezu ungehindert durchdringen und werden in den H1-Streamerrohrkammern nachgewiesen. Zusätzlich soll es dazu dienen die Restenergie zu messen, die aus dem Hadronkalorimeter entweicht.

In extremer Vorwärtsrichtung ($12.5 \text{ mrad} \leq \Theta \leq 60 \text{ mrad}$) schließt

³Backward Electro Magnetic Calorimeter

Experiment H1

- 1 Strahlrohr und Strahlmagnete
- 2 Zentrale Spurenkammern
- 2a Wechselwirkungspunkt
- 3 Vorwärtsspurkammern und Übergangsstrahlungsmodul
- 4 Elektromagnetisches Kalorimeter (Flüssig-Argon, Blei)
- 5 Hadronisches Kalorimeter (Flüssig-Argon, Edelstahl)
- 6 Supraleitende Spule (1.2 Tesla)
- 7 Kompensationsmagnet
- 8 Myon-Kammern
- 9 Instrumentiertes Eisen (Eisenplatten und H1- Streamerrohrkammern)
- 10 Vorwärts Myon-Spektrometer
- 11 warmes elektromagnetisches Kalorimeter
- 12 Vorwärts-Kalorimeter
- 13 Betonabschirmung
- 14 Flüssig Argon Kryostat

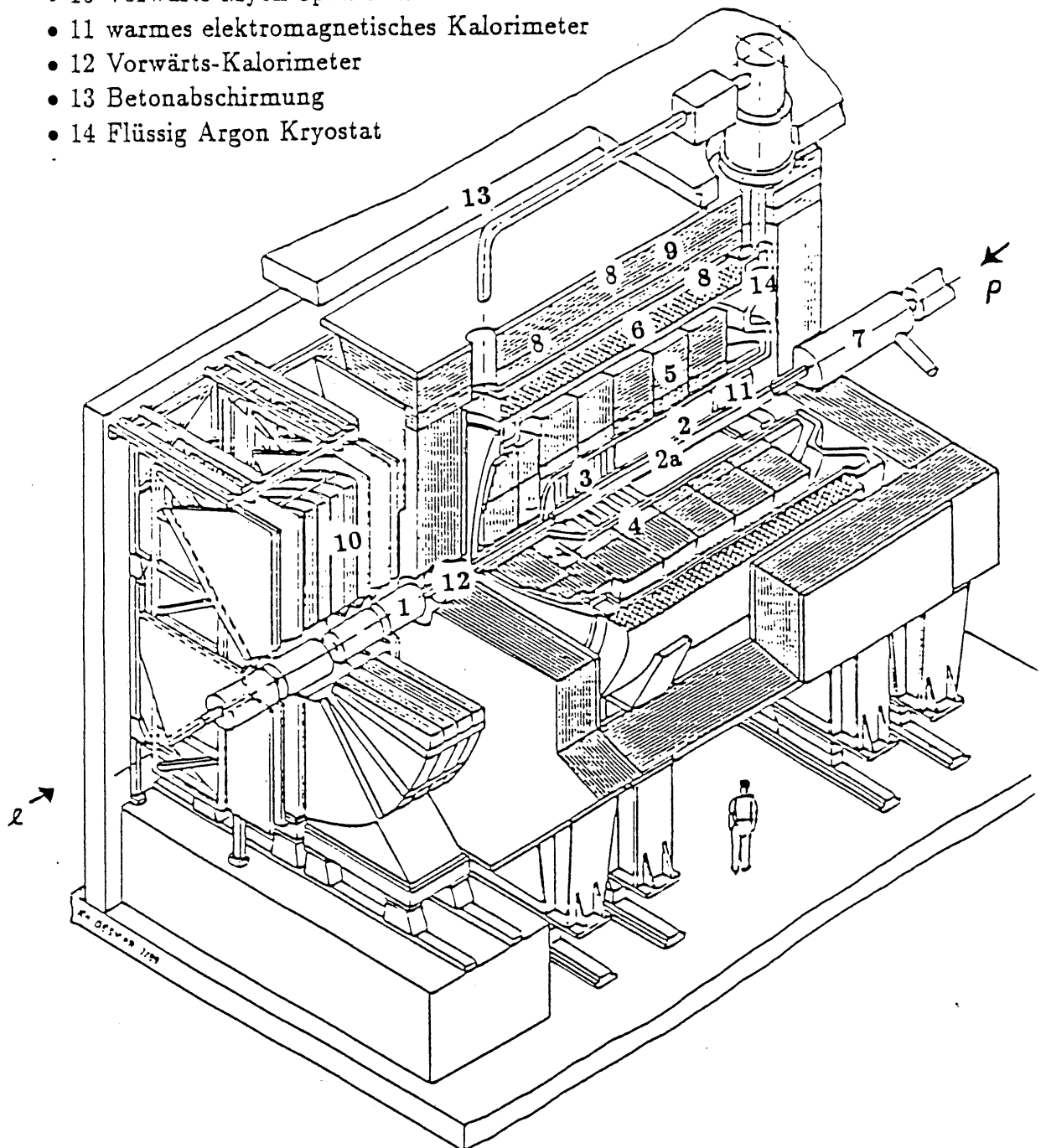


Abbildung 2: Der H1-Detektor in drei Dimensionen.

	Absorptionslängen Hadronisches Kalorimeter λ	Strahlungslängen Elektromagnetisches Kalorimeter X_0
Vorwärtsbereich	4.6 - 6.0	30
Barrelbereich	3.8 - 5.2	19 - 30

Tabelle 1: Absorptionslängen und Strahlungslängen im Flüssig-Argon Kalorimeter. Nach einer Absorptionslänge λ ist die Anzahl der einfallenden Teilchen um den Faktor $1/e$ ($e =$ Eulersche Zahl) abgesunken. Nach einer Strahlungslänge X_0 ist die Energie des einlaufenden Teilchens auf $1/e$ abgesunken.

Detektorteil	Energieauflösung
	Impulsauflösung
	$\frac{\sigma_E}{E} \quad \frac{\sigma_p}{p}$
Spurenkammern	$0.003 \frac{p}{\text{GeV}}$
BEMC	$\frac{0.10}{\sqrt{E}} \sqrt{\text{GeV}}$ für $E \leq 6 \text{ GeV}$
elektromagnetisches Flüssig-Argon Kalorimeter	$\frac{0.10}{\sqrt{E}} \sqrt{\text{GeV}}$
hadronisches Flüssig-Argon Kalorimeter	$\frac{0.45}{\sqrt{E}} \sqrt{\text{GeV}}$
Rückflußjoch (Instrumentiertes Eisen)	$\frac{1.0}{\sqrt{E}} \sqrt{\text{GeV}}$
'Plug' Kalorimeter	$\frac{1.0}{\sqrt{E}} \sqrt{\text{GeV}}$
Vorwärts Myon Spektrometer	0.23 bei $25 \frac{\text{GeV}}{c}$ 0.32 bei $150 \frac{\text{GeV}}{c}$

Tabelle 2: Energie, bzw. Impulsauflösung einzelner Detektorkomponenten

2.2.5 Das 'Plug' Kalorimeter

die Lücke zwischen Flüssig-Argon Kalorimeter und Strahlrohr. Es handelt sich um ein Sampling Kalorimeter mit Kupfer als Absorber und Silizium Halbleiter Detektoren als Ausleselementen.

Hochenergetische Myonen in Vorwärtsrichtung werden mit dem

2.2.6 Vorwärts Myon Spektrometer

nachgewiesen. Es besteht aus einem Toroidmagneten und aus mehreren Driftkammern vor und hinter dem Magneten. Die wichtigsten Eigenschaften der einzelnen Detektorkomponenten lassen sich aus den Tabellen 2 und 3 entnehmen [5].

2.3 Das instrumentierte Eisen des H1-Detektors

Weil diese Arbeit sich ausschließlich mit den H1-Streamerrohrkammern beschäftigt, soll diesen in der Detektorbeschreibung ein eigenes Unterkapitel gewidmet werden.

Detektorteil	Ortsauflösung
Spurenkammern	$\sigma_{r,\phi} = 130\mu m$ $\sigma_z = 350\mu m$
'Plug' Kalorimeter	$\sigma_\theta \leq 5mrad$

Tabelle 3: Ortsauflösung einzelner Detektorkomponenten

Das Eisenjoch im H1-Detektor ist mit Spalten versehen, in die später die Streamerrohrkammern eingeschoben werden. Damit wird das Rückflußjoch zum aktiven Detektorteil, das zwei Aufgaben erfüllen soll:

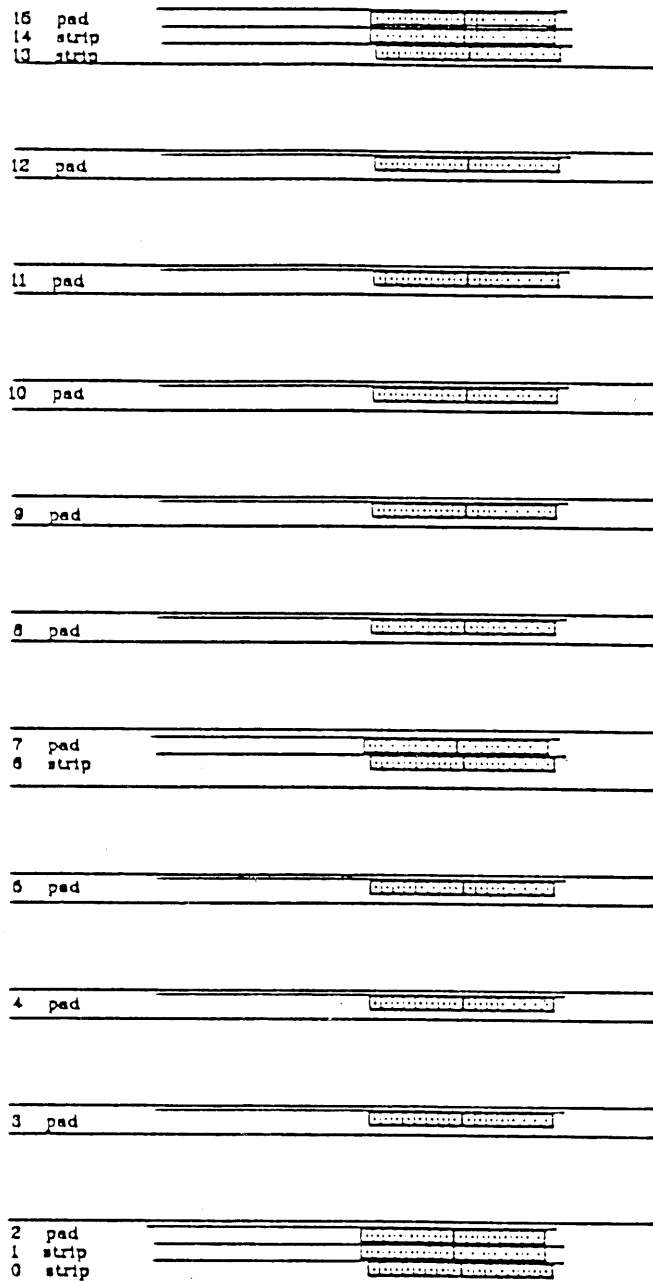
- Messung der Restenergie, der aus dem Hadron-Kalorimeter austretenden Teilchen.
- Myonidentifikation und grobe Impulsbestimmung

Insgesamt werden 16 Streamerrohrkammerebenen eingebaut. Bei 14 Ebenen wird zur Ortsbestimmung der Myonen das Drahtsignal digital ausgelesen. Zusätzlich gibt es drei Doppelenen, wo streifenförmige Influenzelektroden senkrecht zu den Drähten aufgebracht sind. Die innere und äußere Doppalebene bestehen aus zwei um 1 cm gegeneinander versetzten Streifenebenen, damit wird eine Nachweiswahrscheinlichkeit von $\sim 100\%$ erreicht. Diese 17 mm breiten Streifen (*Strips*) werden, wie die Drähte digital ausgelesen (Abbildung 3).

Die Energiemessung ist Aufgabe eines Sampling Kalorimeters aus abwechselnd 7.5 cm Eisen und einer H1-Streamerrohrkammer-Ebene (1 cm). Auf diese Kammerebenen sind rechteckige Influenzelektroden, die sogenannten *Pads* aufgebracht.

Eine Messung der deponierten Ladung mit Hilfe der *Pads* bestimmt die Energie der Teilchen. Dabei ist die Ladung proportional zur Energie des in das Rückflußjoch eintretenden Hadrons.

Pads verschiedener hintereinander liegender Ebenen werden elektronisch zu einem 'Turm' zusammengefaßt. In longitudinaler Richtung sind insgesamt zwei Türme vorgesehen, mit vier bzw. sechs zusammengefaßten *Pads*.



12.12.89

Ropyly

Abbildung 3: Die Anordnung der einzelnen Streamerrohrkammerebenen im Eisen des H1-Detektors. Auf den 3 Doppelsebenen: innen, in der Mitte und außen sind die Streifen aufgebracht. In der Mitte gibt es eine Ebene mit Streifen, während innen und außen zwei gegeneinander versetzte Streifenebenen sind. Damit erreicht man eine Nachweiswahrscheinlichkeit von ~ 100 %.

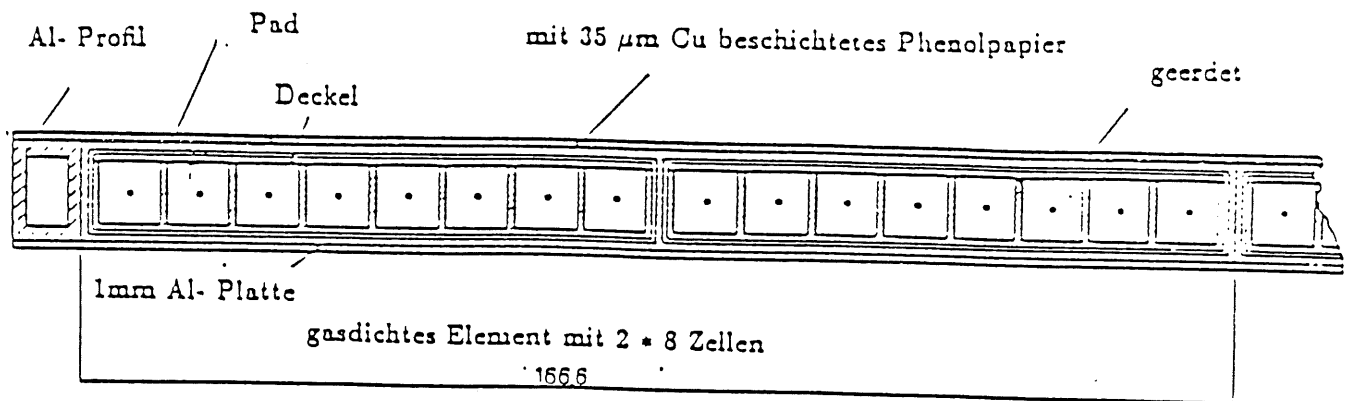


Abbildung 4: Querschnitt durch ein H1-Streamerrohrkammer- Element

3 Die H1-Streamerrohrkammern

3.1 Die Geometrie der Kammern ...

Die H1-Streamerrohrkammern sind eine Weiterentwicklung der altbekannten Jarocci-Kammern [2].

Bei den herkömmlichen Jarocci-Kammern, die aus PVC sind, gab es Sicherheitsbedenken. Da die Streamerrohrkammern mit brennbaren Gasen betrieben werden, kann ein mögliches Brandunglück nicht ausgeschlossen werden. Beim Verbrennen von PVC entstehen Chlorgas und Dioxin, was einen großen Risikofaktor darstellt. Aus diesem Grund wurde ein ungefährlicher Kunststoff mit ähnlichen Materialeigenschaften ausgewählt. Die H1-Streamerrohrkammern werden aus dem Kunststoff Luranyl hergestellt. Im Gegensatz zu den Jarocci-Kammern hat man bei den H1-Kammern das Profil mit negativer Hochspannung belegt, dadurch war es nötig der Kammer einen graphitierten Deckel zu geben. Diese Maßnahme ermöglicht es, auf Auslese-kondensatoren am Draht zu verzichten. Jedes Profil (Länge zwischen 1 m und 6.4 m) besteht aus acht Drähten, die innerhalb eines kammartigen Achtfachprofils gespannt sind. Eine einzelne Zelle ist $9 \times 9 \text{ mm}^2$ groß und wird von ihrer Nachbarzelle von einer 1 mm dicken Wand getrennt. Der Draht der in ihrem Zentrum gespannt ist, hat einen Durchmesser von $100 \mu\text{m}$ und besteht aus versilbertem Kupfer-Beryllium. Jedes Achtfachprofil wird mit einem ebenfalls graphitierten Deckel zugeklebt. Die Graphitbeschichtung der einzelnen Kammern hat einen Oberflächenwiderstand von $10 \text{ k}\Omega/\text{cm}^2$, wogegen die Deckel hochohmig sind ($3 \text{ M}\Omega/\text{cm}^2$).

Je zwei dieser Profile kommen in eine gasdichte Box, zusammen werden sie dann als Element bezeichnet (siehe Abb. 4). Jedes Profil hat einen eigenen HV-Anschluß und einen Achtfachstecker zur Auslese der Drähte

Zum Schluß werden viele Elemente zu Kammerebenen verschiedenen Ausmaßes zusammengefaßt. Auf die Oberfläche der Kammerebenen werden teilweise verschiedengroße rechteckige Padelektroden aufgebracht, die die Energie der Teilchen, die aus dem Hadronkalorimeter herauslaufen messen sollen. Die Größe dieser Influenzelektroden liegt zwischen $30 \times 30 \text{ cm}^2$ und $40 \times 50 \text{ cm}^2$.

Andererseits sind auf einigen Kammern senkrecht zu den Drähten Streifen aufgebracht,

Bezeichnung der Teilkomponente des Streamerrohrkalorimeters	Größe der Teilkomponenten	Breite	Länge
Profil	kleinste Einheit: 8 Drähte	8 cm	1 m bis 6.4 m
Element	2 Profile in gemeinsamer gasdichter Box	16 cm	
Ebene	Zusammenstellung mehrerer Elemente		

Tabelle 4: Bezeichnungen der Bestandteile des Streamerrohrkalorimeters

die die dritte Ortskomponente bestimmen. Diese Kammern, die zwei Raumkoordinaten der Teilchen bestimmen, werden als Myonkammern bezeichnet. Die Streifen sind 17 mm breit und haben einen Abstand von 3 mm. Außerdem verleiht die Zusammenfassung der Elemente dem System eine gewisse Stabilität, ansonsten wäre es schwierig so viele Kammern einzeln im entgültigen Detektor zu positionieren.

3.2 ..und wie sie funktionieren sollen

Geladene Teilchen und auch Photonen können beim Durchqueren eines Gases ihrer Energie entsprechend Gasatome ionisieren. Innerhalb des elektrischen Feldes einer Drahtkammer werden die so entstandenen Elektronen zum Anodendraht gezogen. Erhöht man die Feldstärke, so durchläuft man die traditionellen Bereiche der Gasentladung (siehe Abb. 5, aus [4]). Bei niedriger Feldstärke wird nur die erzeugte Primärladung der Teilchen nachgewiesen werden. Das entspricht der Funktionsweise einer Ionisationskammer. Wenn die Feldstärke langsam erhöht wird erreicht man einen Bereich, in dem proportional zur Primärladung weitere Ionen erzeugt werden. Bei weiterer Erhöhung der Feldstärke schließt sich der Bereich der Geigerentladung an. Die erzeugten Ladungen sind nicht mehr proportional zur Primärladung, und breiten sich über den ganzen Draht aus. Durch weitere Erhöhung der Hochspannung erreicht man den Bereich der selbstständigen Entladung.

Unter bestimmten Bedingungen gibt es auch unkonventionelle Gasverstärkungsmechanismen. Oberhalb des Proportionalbereiches ordnet sich

3.2.1 Der Streamermechanismus

ein. Die Signale, die man in diesem Bereich erhält sind im Spannungspuls vergleichbar mit Geiger Signalen, nur sind sie im Vergleich sehr kurz (100-200 ns) und bewirken keine lange Totzeit. Als man das erste Mal diesen Effekt gefunden hatte, bezeichnete man die zugehörige Gasmischung als *Magic* [6]. Man hatte einen Bereich mit großen Signalen entdeckt, der bei akzeptablen geometrischen Abmessungen funktionierte (Drahtdurchmesser 50 - 100 μm).

Die Entladung breitet sich senkrecht zum Draht aus, bleibt aber entlang des Drahtes lokalisiert (ca. 0.5 cm). Dann bricht die Entladung sehr schnell (100-200 ns) von selbst ab. Im Vergleich zum Geigerbereich ist nur ein kleiner Bereich des getroffenen Drahtes für eine kurze

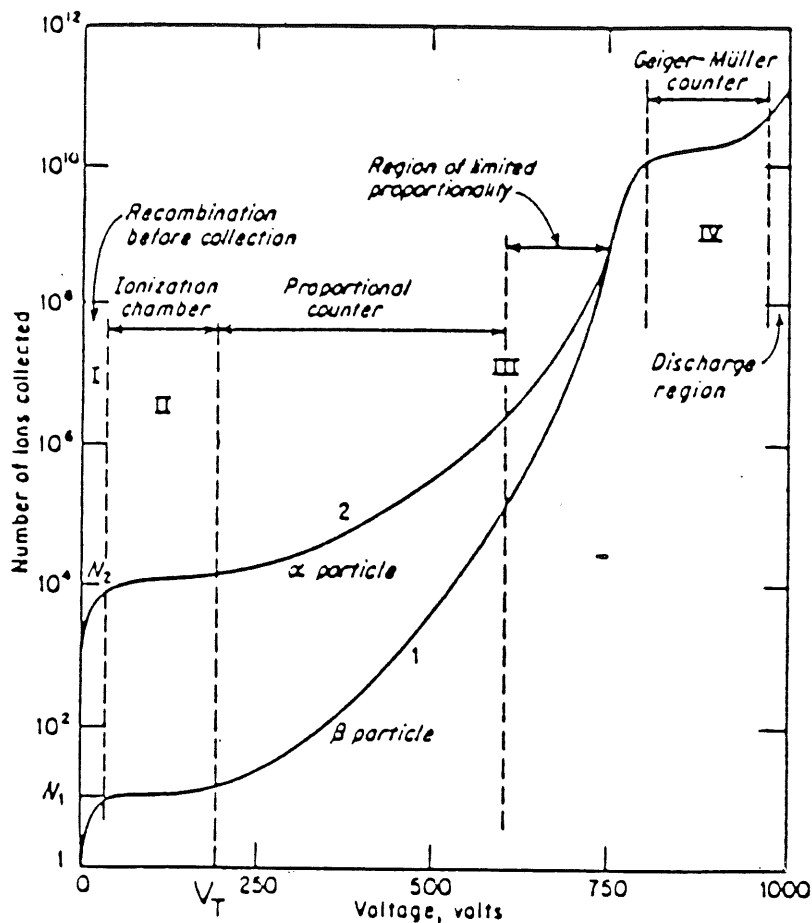


Abbildung 5: Die verschiedenen Bereiche der Gasentladung einer Proportionalkammer.

Totzeit inaktiv. Es gibt zwei Voraussetzungen, die erfüllt sein müssen, damit sich ein *Streamer* ausbilden kann.

*1 Wenn Photoelektronen entstehen, muß das elektrische Feld der Primärlawine in der gleichen Größenordnung wie das äußere elektrische Feld sein, damit die von Photonen ausgelösten Sekundärlawinen auf die primäre laufen.

*2 Die mittlere freie Weglänge der Photonen muß kleiner oder gleich der Ausdehnung der Lawine sein, so daß die Photoionisation im Bereich der Primärlawine stattfinden kann.

Sind beide Bedingungen erfüllt, beginnt sich ein *Streamer* in der Überlagerung des äußeren und seines eigenen elektrischen Feldes zu entwickeln. In seinem Wachstumsprozeß erreicht der *Streamer* ein Gebiet, wo das äußere elektrische Feld sehr schwach wird und seine Entwicklung nur noch durch sein eigenes elektrisches Feld bestimmt wird. Da der *Streamer* zur Kathode hin wächst, nimmt sein elektrisches Feld mit dem Wachstum ständig ab und damit auch seine Wachstumsmöglichkeiten.

Aus mehreren Gründen kann der Streamermechanismus als eigenständiger Gasentladungsbereich betrachtet werden:

- Der Streamerbereich ist stabil, damit ist gemeint, daß er ein Zählratenplateau von ~ 300 V hat (siehe Abbildung 6).

- Es besteht ein deutlicher Sprung in der Ladung zum Proportionalbereich (siehe Abbildung 7 aus [8]) [7].

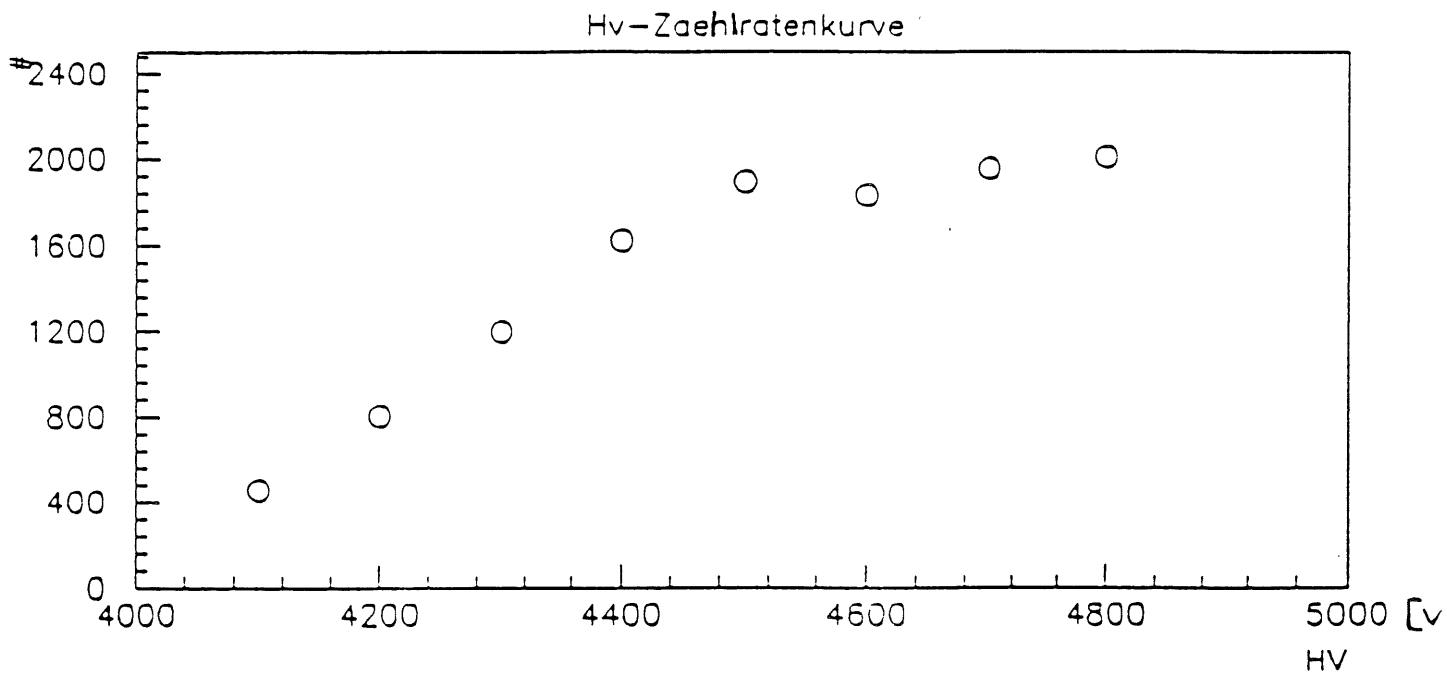


Abbildung 6: Zählratenkurve für eine H1-Streamerrohrkammer mit einer Gasmischung von Argon/Isobuthan im Verhältnis 1:3. Hier sieht man ein ca. 300 V breites Plateau.

75 % Isobutane - 25 % Argon

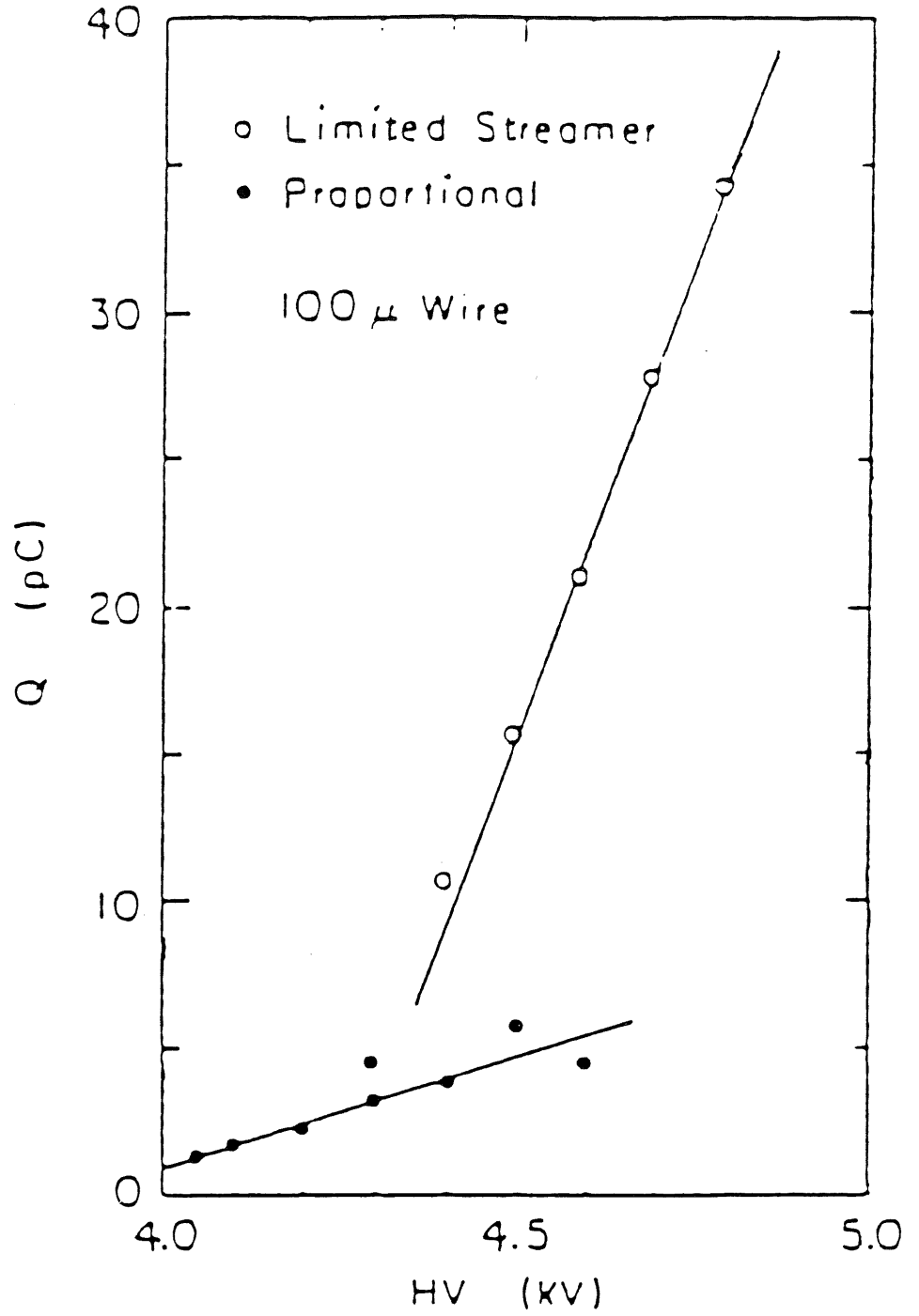


Abbildung 7: Hochspannungsabhängigkeit der Ladungspulse. Hier sieht man den deutlichen Ladungssprung vom Proportionalbereich zum Streamerbereich.

4 Der Test der Kammern

4.1 Zielsetzung

Die H1-Streamerrohrkammern werden am I. Physikalischen Institut der RWTH produziert und auf HV-Beständigkeit geprüft. Ein kleiner Anteil an der Gesamtproduktion (2 %) soll in seinem Langzeitverhalten genauer untersucht werden. Man möchte Erfahrungen sammeln, wie sich die Kammern bei kontinuierlichem Betrieb verhalten, und wie lange sie unter Belastung zuverlässig arbeiten.

Bei der Entwicklung von Detektorelementen ist es nötig, die Produktion ständig zu überwachen, um möglichst von jeder Produktionsserie ein Bild zu bekommen. Immer wieder können unerwartete Produktionsmißstände auftreten, wenn man mit neu entwickelten Kunststoffen arbeitet. Meist standen deshalb auch Produktion und Test unter dem Motto:

Furthermore, in the fabrication and operation of a chamber people seem to use a mixture of competence, technical skill and magic rites, of the kind : I do not know why I am doing this but somebody told me to do so. [4]

Es ist wichtig eine Hochrechnung auf die gesamte Lebensdauer der Kammern zu machen. Die Streamerrohrkammern müßten eine beachtliche Lebensdauer haben, um im H1-Detektor ihre Aufgabe hinreichend gut erfüllen zu können. Angenommen der H1-Detektor bleibt fünf Jahre in Betrieb, dann ist diese Zeit eine Mindestanforderung an die Haltbarkeit der Kammern. Das H1-Experiment wird voraussichtlich ca. fünf Jahre in Betrieb bleiben, um eine genügend hohe Statistik an Ereignissen zu sammeln

Nach den bisherigen Erfahrungen zu urteilen, sind die meisten H1-Kammern, wenn man Funkenentladungen, Überschläge an Kanten und Feldemissionen an der Kathode vermeiden kann, nach ihrem unmittelbaren Zusammenbau funktionstüchtig. Erkennbare Anzeichen für solche Fehler sind hohe Kammerströme (Ströme, die weit über dem durch die nachzuweisenden Teilchen verursachenden Strom hinausgehen), oder schlimmstenfalls Knistern durch Funkenentladung an den Kammern.

Abgesehen von solchen Ausfällen, entweder durch einen Fertigungsfehler (Schmutz, Unregelmäßigkeit in der Graphitbeschichtung) oder durch Fehlbedienung (ungeeignetes Gasgemisch, ungeeignete Hochspannung) hervorgerufen, könnte es Erscheinungen bei Kammern geben, die auf eine Art Abnutzungseffekt zurückzuführen sind, der sich in einer Veränderung in der Graphitbeschichtung bemerkbar machen kann. Um solche Effekte zu untersuchen, wurde der Langzeittest in Angriff genommen.

Die Ausfälle der ersten Art sollten fast vollständig vom Serientest aufgedeckt werden, und der Langzeittest soll die Mangelerscheinungen entdecken, die aufgrund längeren Betriebes auftreten. Indikator für eine solche Beschädigung ist in erster Linie ein erhöhter Kammerstrom (Näheres dazu, siehe Abschnitt über Kammerströme). Außerdem können im Langzeittest die Betriebsparameter jeder Kammer über Monate hinweg beobachtet werden und eventuelle Änderungen im *Ladungsspektrum*, im *Anodenstrom* und der *Nachweiswahrscheinlichkeit* aufgedeckt werden.

Durch den kontinuierlichen Betrieb konnten Nachteile einzelner Komponenten des Teststandes erkannt und behoben werden.

4.2 Der Testaufbau

Der Testdetektor befindet sich in der Experimentierhalle der Physikalischen Institute in Aachen. Er benutzt kosmische Myonen als nachzuweisende Teilchen. Abbildung 8 zeigt den Aufbau des Teststandes. Die zu testenden Kammern liegen in einem Regal mit sechs Regalbrettern. Unterhalb des Regals und auf dem obersten Regalbrett befinden sich je ein Szintillator als Hardware-Trigger. Der obere Szintillator hat eine Größe von 21 cm x 91 cm, der untere ist 80 cm x 100 cm groß. Um den genauen Durchgangsort der Myonen zu bestimmen, ist jeweils oberhalb und unterhalb der Testkammern eine Ebene aus sechs 1 m langen Streamerrohrkammern angebracht. Die jeweils 96 Drähte in 1 cm Abstand können digital ausgelesen werden. Die Streamerrohrkammerebenen bilden zusätzlich die Grundlage für einen Online- Softwaretrigger. Es wurden nur Ereignisse aufgezeichnet, die in beiden Ebenen ein Signal haben.

Von den einzelnen Profilen aus führt je ein Kabel zu dem Strommeßgerät und über eine Verzögerung von 100 ns zu den ADC's. Die Verzögerung wird so bemessen, daß die Signale der Streamerrohrkammern in dem Zeitfenster liegen, indem die ADC's empfindlich sind. Dieses Zeitfenster wird durch eine Koinzidenz der beiden Szintillatoren bestimmt. Die beiden Triggerebenen sind durch Flachbandkabel mit dem 'Bus-Terminal' der Digitalen Elektronik verbunden. Von dort bringen zwei Flachbandkabel die Ereignis-Informationen zur Auslesekontrollereinheit (ROC). Das Strommeßgerät kommuniziert über die RS232 Schnittstelle¹ mit dem Atari. Camac⁵ - und VME⁶ -Einheit sind mittels Kontrollereinheit auf jeder Seite miteinander verbunden. Aufgrund von verschiedenen Eingangswiderständen der ADC's (50 Ω) und des Strommeßgerätes (1M Ω), ist es nötig vor den ADC's einen 100 nF Kondensator einzufügen. Siehe Abbildung 9.

Der Aufbau erlaubt eine kontinuierliche *Kammerstrommessung*, gleichzeitig werden mit Hilfe einer Triggerlogik *ADC⁷-Ladungsspektren* aufgenommen. Außerdem ermöglichen zwei Triggerebenen aus Streamerrohrkammern eine Ortsrekonstruktion der jeweils getroffenen Drähte, womit *Nachweiswahrscheinlichkeiten* bestimmt werden können (siehe Abbildung 8).

4.3 Die Betriebsparameter

Es gibt zwei Arten von Parametern, die die Ströme und Ladungsspektren beeinflussen: Die erste Art sind Hochspannung und Gaszusammensetzung, die zweite Art sind Luftdruck und Temperatur. Die ersten können mit dem Hochspannungsgerät bzw. mit dem Gassystem auf einen konstanten Wert eingestellt werden. Die Kammern wurden, wenn nicht gesondert erwähnt bei einer Hochspannung von 4600 V betrieben. Die Gasmischung war die Standardmischung Argon/Isobuthan (iC_4H_{10}) im Verhältnis 1 : 3, (wenn nicht anders erwähnt). Die beiden anderen Parameter, Luftdruck und Temperatur konnten nicht konstant gehalten werden. Deshalb wurden sie um nachträglich darauf korrigieren zu können täglich festgehalten. Druckänderungen bewirken eine nicht vernachlässigbare Änderung im Ladungsspektrum und in den Anodenströmen. Messungen aus Kapitel 6.1.1 und 6.1.2 ergaben eine Abhängigkeit des Stroms vom Luftdruck von 0.74 % \pm 0.23 pro mbar Luftdruckänderung und eine Abhängigkeit der Ladungsmittelwerte vom Luftdruck von 0.88 % \pm 0.16 pro mbar Luftdruckänderung. Abhängigkeiten von der Temperatur konnten aufgrund der Raumbedingungen nicht aufgenommen werden. Ein

¹Serielle Schnittstelle

⁵Eine Elektronikeinheit

⁶Eine Elektronikeinheit eines Adressbusses

⁷Analog Digital Converters LeCroy LRS 2249A

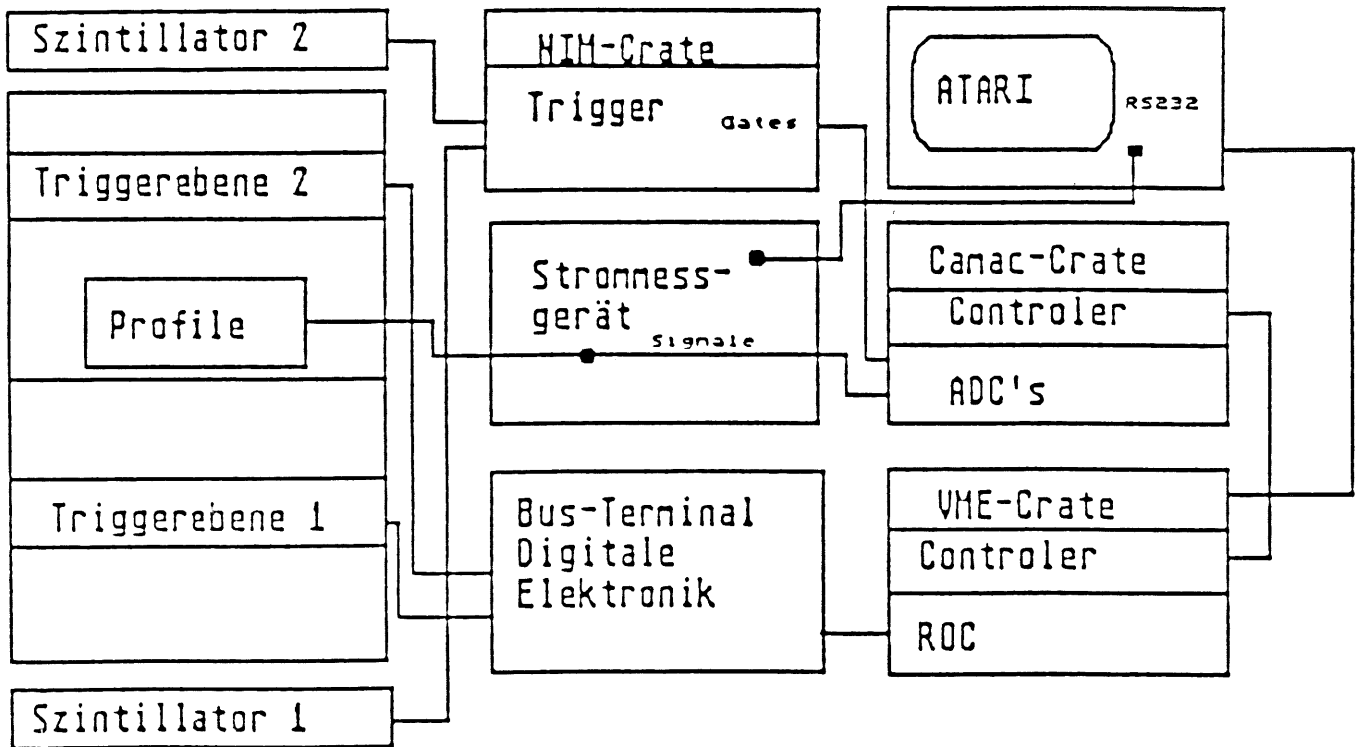


Abbildung 8: Hier sieht man den Gesamtaufbau des Teststandes. Links befindet sich das Testregal mit den Streamerrohrelementen, den beiden Szintillatoren und den Streamerrohrkammerebenen zur Rekonstruktion der getroffenen Profile. Von den einzelnen Profilen aus geht je ein Kabel zu dem Strommeßgerät und über eine Verzögerung von 100 ns zu den ADC's. Das ist nötig, weil die Streamersignale schneller sind als die Signale die vom Trigger (den Szintillatoren) kommen. Die beiden Triggerebenen sind durch Flachbandkabel mit dem 'Bus-Terminal' der Digitalen Elektronik verbunden. Von dort bringen zwei Flachbandkabel die Informationen zum ROC. Das Strommeßgerät kommuniziert über die RS232 Schnittstelle mit dem Atari. Canac- und VME-Crate sind mittels Controller auf jeder Seite miteinander verbunden.

Gleichzeitige Messung von Strömen und Ladungsspektren

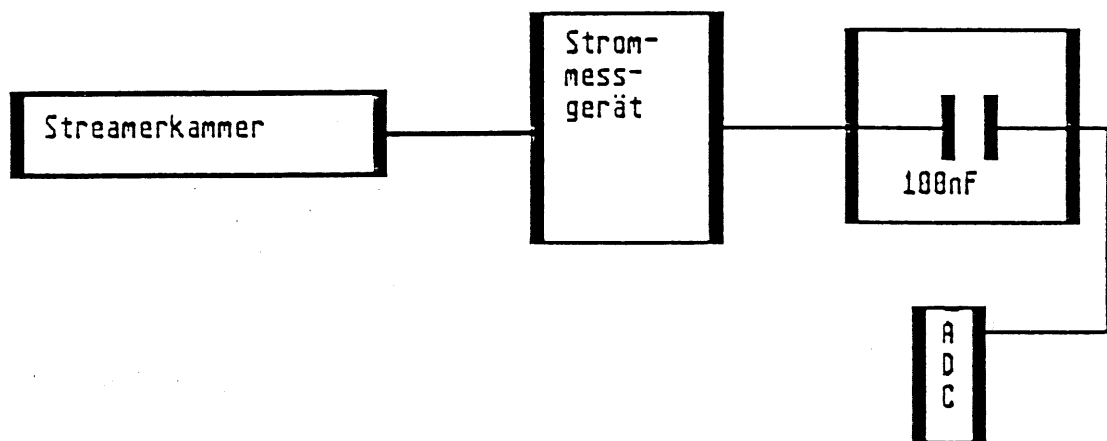


Abbildung 9: Schaltbild für Verbindung Kammer, Strommeßgerät, ADC's. Aufgrund verschiedener Eingangswiderstände von Strommeßgerät und ADC's ist es nötig einen Kondensator zwischenzuschalten. Der Strom wird mit einem $1\text{ M}\Omega$ Widerstand über die Spannung gemessen. Ohne Kondensator kann man am $1\text{ M}\Omega$ Widerstand keinen Strom registrieren.

mit der Luftdruck-Ladungsabhängigkeit übereinstimmendes Ergebnis findet sich in [11]. Bei einer Gasmischung Argon-Isobuthan (1:3) und einer Hochspannung von 4650 Volt wurde dort folgende Druckabhängigkeit von der Ladung gemessen:

$$\frac{dQ}{Q} = -(9.1 \pm 1.0) \frac{dP}{P}$$

$Q = \text{Ladung}$, $P = \text{Druck}$ (0.91% pro mbar) Eine entsprechende Abhängigkeit von der Temperatur ergab dort:

$$\frac{dT}{T} = -(10.4 \pm 0.5) \frac{dT}{T}$$

$Q = \text{Ladung}$, $T = \text{absolute Temperatur}$ (3% pro K) ([11])

4.4 Das Gassystem

Die Meßdauer kann in zwei Abschnitte unterteilt werden, die sich durch das Gassystem unterscheiden. In den ersten vier Monaten (Anfang Januar bis Ende April) bestand das 'Gassystem' aus zwei Durchflußmessern⁸, eines für Argon und eines für Isobuthan, einem Mischgefäß und einem Voratsbehälter. (genauer dazu siehe [9].)

Die wichtigste Voraussetzung für einen Langzeittest und eine präzise Untersuchung von Kammerparametern ist eine konstante Gasmischung. Falls das nicht der Fall ist, werden eventuelle Veränderungen der Kammern von den Änderungen im Stromverlauf und im Ladungsspektrum durch die Schwankung in der Gasmischung überlagert. Laut früheren Messungen führt eine 1 % tige Änderung in der Gasmischung zu einer 10 % tigen Änderung im Ladungsspektrum ([10]). Im ersten Meßabschnitt gab es erhebliche Probleme die Gasmischung konstant zu halten. Ein industriell gefertigtes Gassystem, auf thermischen Meßmethoden basierend, konnte die Probleme beseitigen.

Um die Konstanz des Gasflusses zu gewährleisten wurde ein Gasflußregler für Argon und einer für Isobuthan installiert. Es handelt sich um thermische Durchflußmeßgeräte der Firma MKS. Diese Geräte bestehen aus einem Regelventil und einem Durchflußregler. Das Regelventil ist ein proportional regelndes elektromagnetisches Ventil. Der Durchflußregler benutzt eine neuere Meßtechnik den Durchfluß von Gasen zu bestimmen. Abbildung 10 zeigt das Meßprinzip. Um die Gasflußmenge zu bestimmen, wird ein kleiner Teil des Gases über ein zylinderförmiges Sensorelement, dessen Durchmesser und Länge so gewählt ist, daß der Gasstrom laminar ist, umgeleitet. Die Temperaturverteilung über dem Sensorelement wird konstant gehalten und automatisch wird die Leistung gemessen, die dafür nötig ist. Über ein Ventil wird so das Volumen des jeweiligen Gases geregelt. Diese Meßmethode ist eine Weiterentwicklung der für thermische Durchflußmeßgeräte üblichen Vorgehensweise. Sie bedienen sich eines U-förmigen Sensorelementes. Gemessen wird die Temperaturdifferenz zwischen Eingang und Ausgang des U-förmigen Sensorelementes, die durch das fließende Gas entsteht. Diese Methode hat den großen Nachteil, daß die Ansprechzeiten relativ hoch liegen (2-19 sec) [12].

Eigenschaften der Durchflußmesser sind Tabelle 5 zu entnehmen. Die Betriebsspannung der Geräte beträgt ± 15 V. Der Ausgang 0-5 V ist linear zum Durchfluß ebenso die Sollwertvorgabe zur Regelung des Durchflusses.

Abbildung 11 zeigt das kompakte Format dieser Präzisionsmeßgeräte. Die kompletten Maße eines Durchflußreglers sind 10.2 cm x 2.5 cm x 12.7 cm.

⁸Rotameter von der Firma Rota

Meßprinzip der Massendurchflußregler

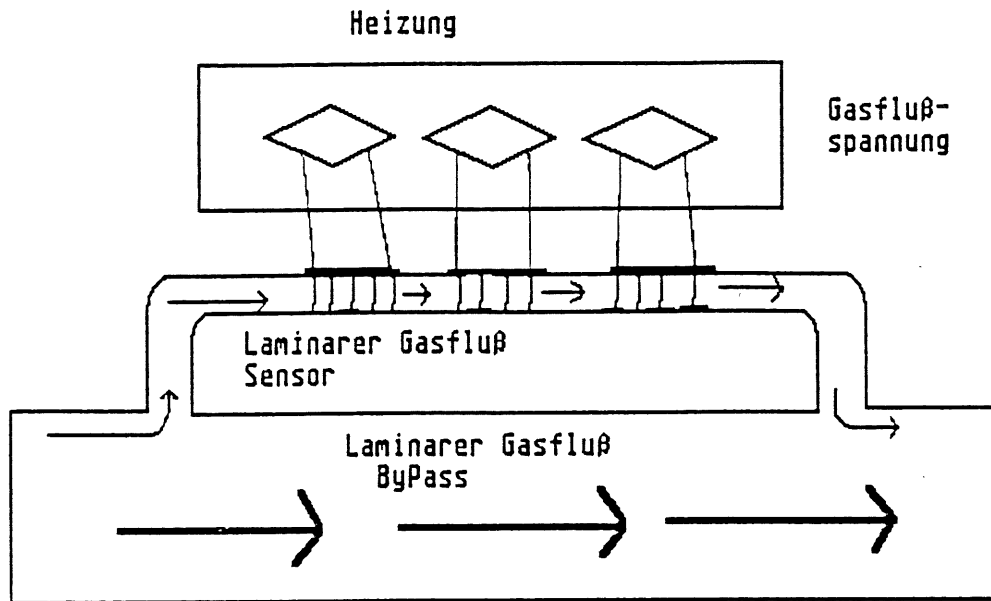


Abbildung 10: Die Abbildung zeigt die Funktionsweise des Durchflußreglers. Über eine Abzweigung wird ein kleiner Anteil des Gasflusses umgeleitet. Dieser Anteil wird auf einer Temperatur konstant gehalten und über die dazu notwendige Leistung wird der Durchfluß geregelt.

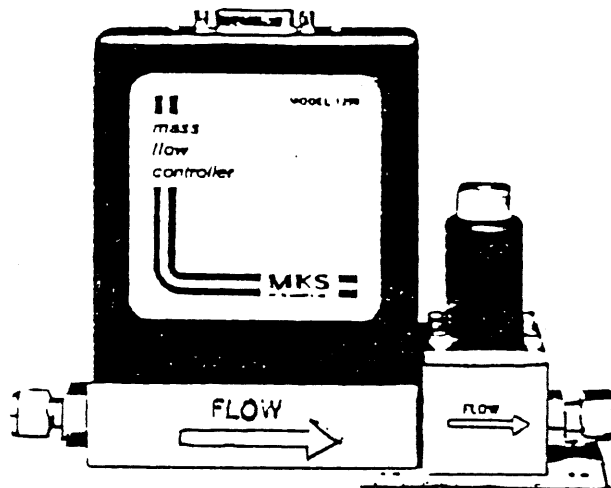


Abbildung 11: Das Bild zeigt die kompakte Ausführung der Massendurchflußmesser. Das Regelventil und der Durchflußregler sind direkt miteinander verschraubt. Diese Anordnung verkleinert die Gesamtabmessungen und verhindert einen zusätzlichen Druckabfall der bei Verbindungsrohren auftreten kann.

	Argon	Isobuthan
Regelventil	Typ 248A	Typ 248A
Einsatzbereich	$100 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$	$500 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$
Max. Einlaßbereich	7 Bar	7 Bar
Temperaturbereich	-10°C bis 60°C	-10°C bis 60°C
Ansprechzeit (Regelung)	15 ms	15 ms
Durchflußregler	Typ 259B	Typ 259B
Genauigkeit (inkl. Nichtlinearität)	$0.8 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$	$4.0 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$
Reproduzierbarkeit	$0.2 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$	$1.0 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$
Temperatureinfluß auf den Nullpunkt	0.01% vom Endwert/°C	0.01% vom Endwert/°C
Temperaturbereich	5 - 50°C	5 - 50°C
Druckabfall	ca. 1 mbar bei einer Atmosphäre	ca. 1mbar bei einer Atmosphäre
Durchflußbereich	$100 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$	$500 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$
Max. Eingangsdruck	10 Bar	10 Bar
Betriebsspannung	±15V, 15mA	±15V, 15mA
Ausgang	0 bis 5 V, linear	0 bis 5 V, linear
Regelbereich	0.2 - $100 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$	1.0 - $500 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$

Tabelle 5: Eigenschaften der Durchflußmeßgeräte

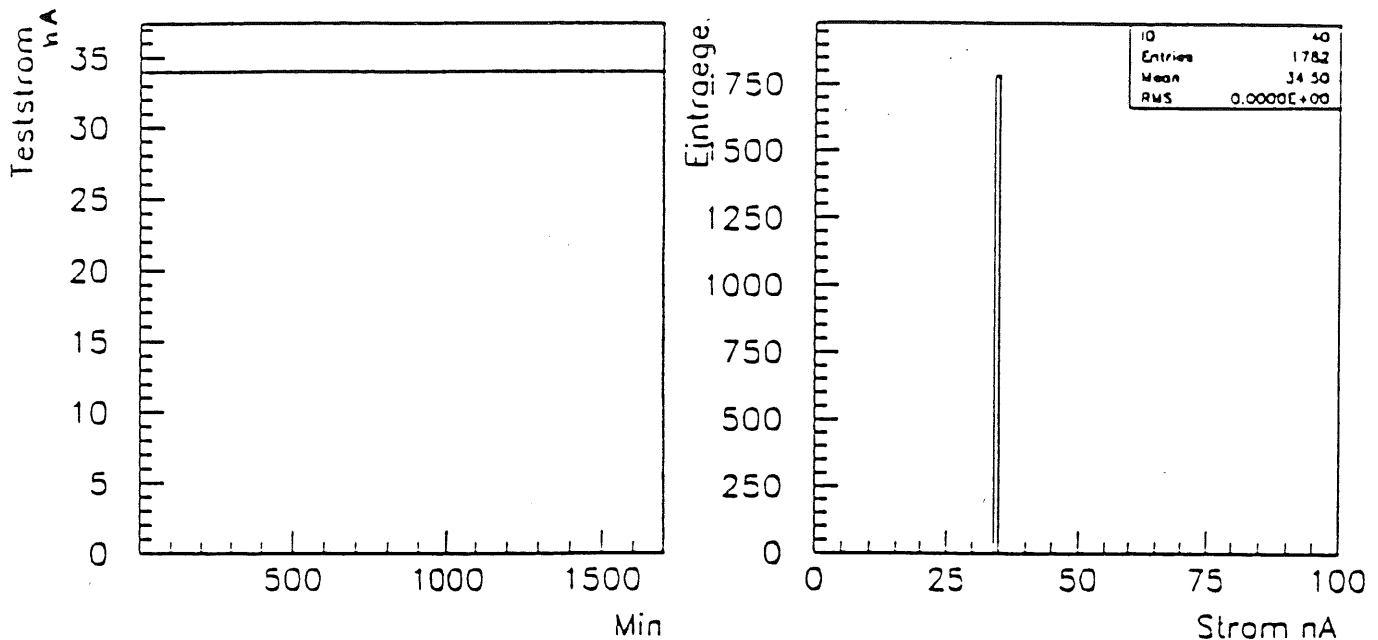


Abbildung 12: Das Meßergebnis gibt die Konstanz der Stromquelle wieder.

Das neue System verbesserte nicht nur die Konstanz des Gasgemisches, sondern erleichterte die Einstellung des Gasflusses erheblich. Ständiges regeln und notieren des Gasflusses übernahm ein Regelventil. Die Auslese des Gasflusses geschieht über einen Rechner (Atari), der über die RS232 Schnittstelle mit der Steuereinheit des Regelventils verbunden ist.

4.5 Die Datennahme

4.5.1 Das Strommeßgerät

Der Strom wird mit Hilfe eines digitalen Strommessgerätes für HV-Kammern aufgezeichnet[15]. Abbildung 13 zeigt die Schaltung für das Strommeßgerät. Mit Hilfe eines DVM's⁹ mit einem Bereich zwischen 0 und 1 V und einem $1\text{ M}\Omega$ Widerstand erzielt man einen Strommeßbereich der zwischen 0 und 999 nA liegt. Die Auflösung beträgt 1 nA und der Meßfehler 1%. Abbildung 12 zeigt eine Strommessung mit einer konstanten Stromquelle.

Das Gerät kann von 120 Kammern den HV-Anodenstrom messen und speichert jede Strommessung inklusive Datum und Uhrzeit in einem Meßblock ab. Für die Strommessung kann man wählen, ob ein Mittelwert über mehrere Messungen aufgezeichnet werden soll, oder ob die Einzelmessung aufgezeichnet werden soll. Die minimale Dauer für eine Strommessung aller Kanäle ist eine $\frac{1}{2}$ Minute. Bis zu 56 Blöcke kann das Gerät auf einmal speichern. Über die RS232 Schnittstelle eines VT100 Terminals (hier ein Atari) lassen sich die Meßblöcke auslesen.

4.5.2 Die digitale Elektronik

Die digitale Auslese wurde mit der gleichen Elektronik betrieben, wie sie für das H1-Myonsystem vorgesehen ist. Jedes Streamerrohrelement (zwei Profile) wird mit einer Auslesekarte bestückt, welche 16 Komparatoren enthält, die entscheiden, ob der jeweilige Draht mit seinem Streamersignal die eingestellte Schwelle überschritten hatte, oder nicht. Mit einer Rate von 10 MHz

⁹Digital Volt Meter

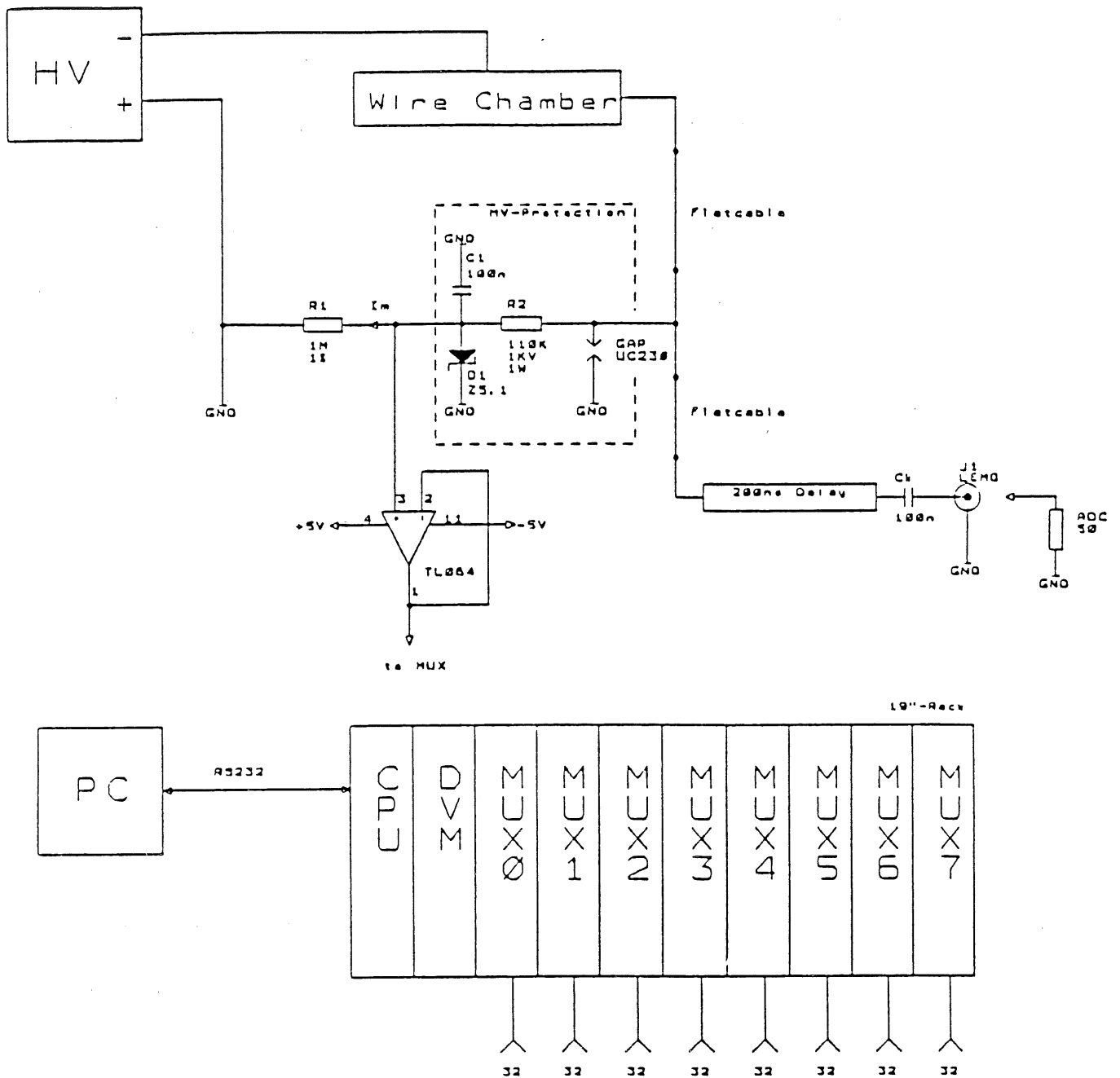


Abbildung 13: Schaltplan für das Strommeßgerät. Im oberen Teil der Abbildung ist die Verbindung zwischen den Streamerrohrkammern, dem Strommessgerät und den ADC's dargestellt. Das Drahtsignal läuft über eine Funkenstrecke und einen 110 kΩ Schutzwiderstand parallel zu einer Zehnerdiode und einem 100 nF Kondensator auf einen 1 MΩ Messwiderstand (1% Genauigkeit). Die im gestrichelten Kasten eingezeichneten Bauteile dienen nur zum Schutz des Strommeßgerätes. Außerdem werden die Streamerrohrkammersignale von der Kammer aus über eine Verzögerung und einen 100 nF Kondensator auf die ADC's gegeben. Die untere Abbildung zeigt die Kommunikation des Strommessgerätes mit dem Rechner. Die CPU (Central Processing Unit) des Strommessgerätes steuert über mehrere Multiplexer das DVM (Digital-Volt-Meter). Alle Kanäle werden nacheinander angesprochen und ihre Stromwerte in einen Meßblock geschrieben. Die vollständigen Meßblöcke werden über die RS232 Schnittstelle des Ataris ausgelesen.

wird ein 32 Stufen tiefer Speicher mit den Ergebnissen der Komparatoren gefüllt. In der letzten Stufe der einzelnen Speicher sind die Komponenten zu einer Kette verbunden, die seriell ausgelesen werden kann. Alle Auslesearten einer Streamerrohrkammerebene werden zu einer größeren Ausleseketten zusammengefaßt.

Unterbrochen wird das kontinuierliche Füllen der Speicher durch einen Trigger. Nun stoppt die Aktion und nachdem das für den Trigger verantwortliche Ereignis an die letzte Stufe des Speichers gerückt worden ist, wird es ausgelesen.

Je sechzehn Drahtebenen und acht Streifenebenen werden von einem ROC¹⁰ kontrolliert. Mit Hilfe eines sogenannten 'Bus Terminals' werden einerseits die Parameter (Schwellen, etc.), die vom ROC ausgehen auf die einzelnen Ebenen verteilt, und andererseits werden die *Ereignisinformationen* der Ebenen zusammengefaßt. Nur zwei Flachbandkabel verbinden ROC und 'Bus Terminal', um die ganzen Informationen auszutauschen. Näheres dazu siehe [13].

4.5.3 Die analoge Elektronik

Ausgelesen werden die Drahtsignale mit ADC's¹¹. Diese ADC's haben eine Auflösung von 0.25 pC und eine Tiefe von 10 Bits je Kanal.

Die ADC's stecken in einem 'Camac-Crate', das in die Datennahme mit dem VME-Bus mittels eines 'Crate-Controllers' auf der 'Camac' Seite und mittels eines 'Crate-Controllers' auf der 'VME' Seite integriert wird. Den Gesamtaufbau zeigt Abbildung 8.

4.5.4 Das Ausleseprogramm

Das Ausleseprogramm wurde in seiner Grundstruktur von [14] geschrieben. Modifikationen und Erweiterungen für die spezielle Anwendung Langzeittest wurden vorgenommen. Um das Strommeßgerät über die RS232-Schnittstelle ansprechen zu können, wurde ein entsprechendes Unterprogramm in das Datennahmeprogramm aufgenommen (siehe Anhang A.1). Um innerhalb einer Datennahme Strom und Ladungswerte aufnehmen zu können wurde das Datennahmeprogramm so geändert, daß man nach einer wählbaren Anzahl Trigger die Stromwerte auslesen kann. Das ermöglicht Strom und Ladungsdaten aus gleichen Zeiträumen miteinander zu vergleichen. Ein erhebliches Problem war die große Datenmenge, die bei einer bedingungslosen Aufzeichnung aller Ereignisse, die durch den Szintillator zu Ereignissen ausgewählt wurden, anfiel. Insgesamt fielen pro Tag 1 MByte Daten an, was 3000 Ereignissen entspricht. Für die Ladungsspektren und die Nachweiswahrscheinlichkeit der Kammern können zur Auswertung nur Ereignisse benutzt werden, die auch in beiden Streamerrohrkammerebenen ein Signal hatten¹². Dazu wurde eine Online-Selektion entwickelt, die nur noch Ereignisse aufzeichnet, die sowohl in der oberen, als auch in der unteren Streamerrohrkammerebene ein Signal haben. Signal bedeutet hier, daß in jeder Ebene höchstens ein Cluster von Drähten angesprochen hat. (Ein Cluster ist eine Ansammlung von höchstens 8 nebeneinanderliegenden Drähten). Diese Maßnahme reduziert die aufgezeichneten Ladungsdaten um einen Faktor vier. Das Flußdiagramm in Abbildung 14 zeigt die Struktur der Datennahme.

¹⁰Read Out Controller

¹¹Analog Digital Converters Le Croy 2249A

¹²Bei den Streamerrohrkammerebenen wird durch die einstellbare Schwelle an den Karten bestimmt, welcher Draht ein hinreichend großes Signal hatte.

Datennahmeprogramm für Atari/UME-Bus (DAQ_AC)

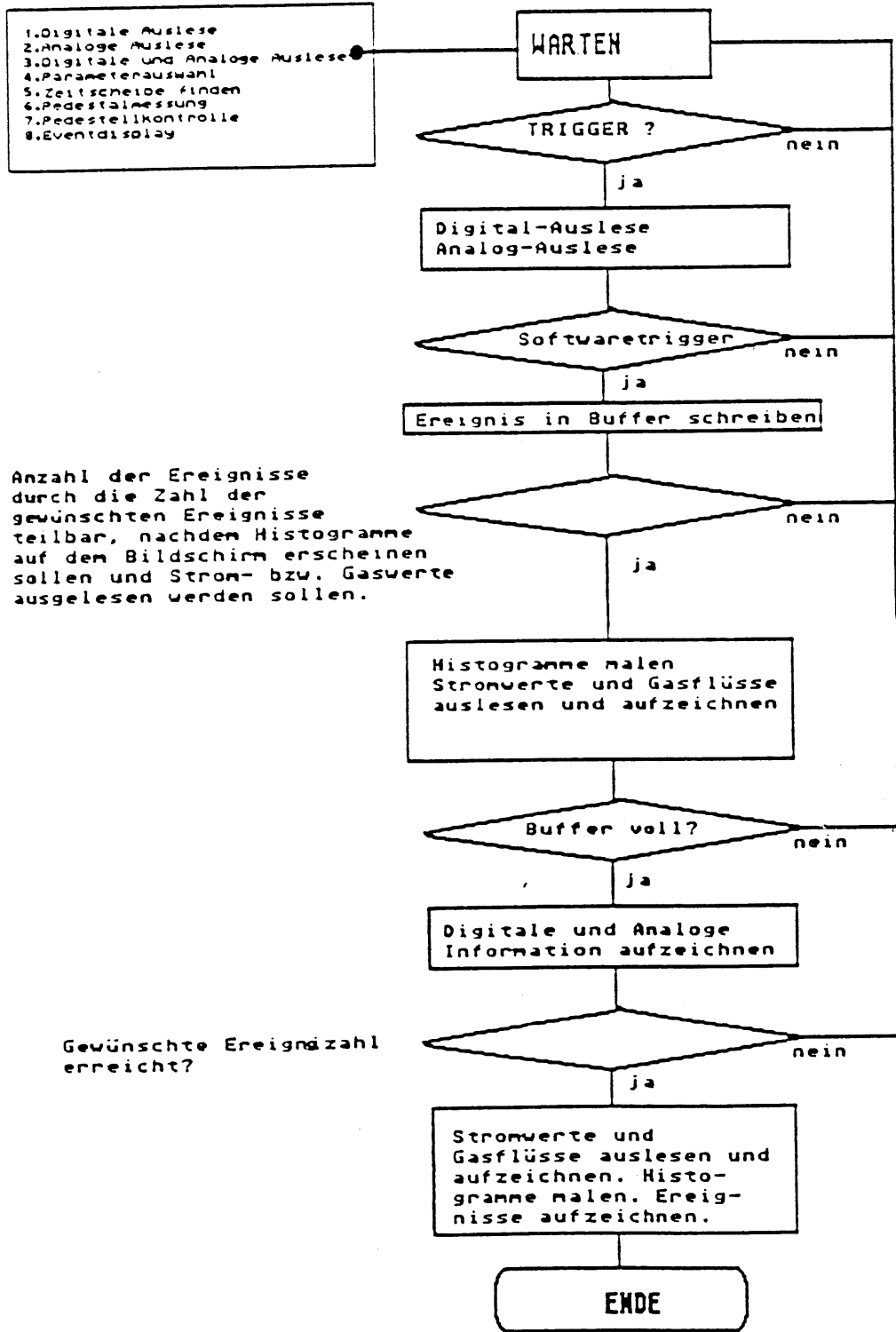


Abbildung 14: Flußdiagramm für das Datennahmeprogramm

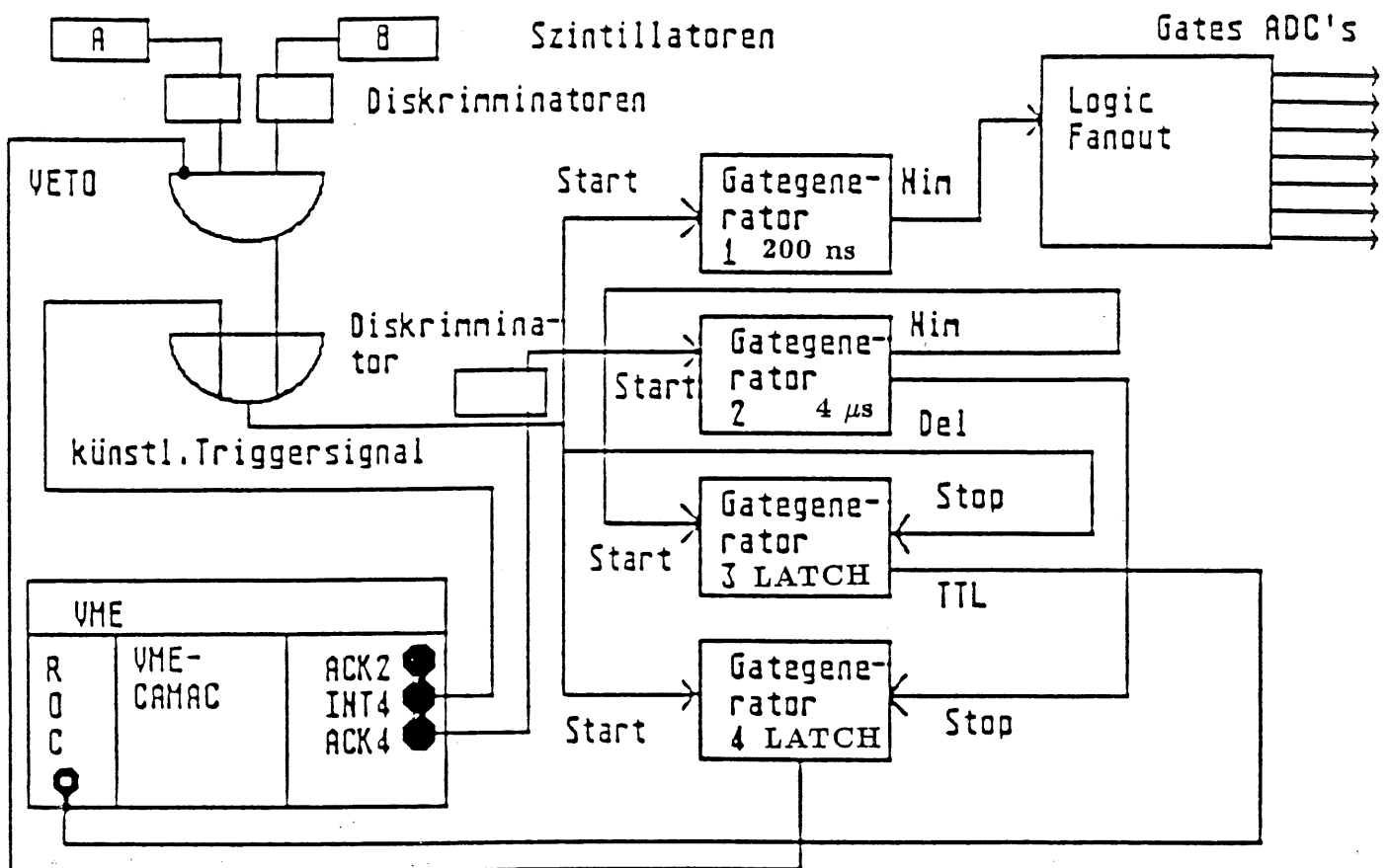


Abbildung 15: Der Aufbau der Triggerschaltung

4.5.5 Die Triggerschaltung

Abbildung 15 zeigt das Triggerschaltbild. Die Koinzidenz der Szintillatoren A und B bildet den Hardwaretrigger für den Langzeitteststand. Beide Szintillatoren gehen über einen Diskriminator auf eine Koinzidenzeinheit, von der aus ein Signal auf eine Einfachkoinzidenz geht. Diese startet einen Gate-Generator (1), der für eine einstellbare Gatezeit die ADC's öffnet. Zusätzlich kann vom VME Bus ein künstliches Signal (INT4) auf die Einfachkoinzidenz gelegt werden. So können unabhängig vom Myontrigger Pedestalwerte genommen werden. Außerdem startet die Einfachkoinzidenz den Gategenerator (4), der eine Verriegelung auf die Koinzidenz der beiden Szintillatoren legt, so daß keine neuen Ereignisse registriert werden, während das aktuelle Ereignis abgearbeitet werden muß. Drittens geht das Signal der Einfachkoinzidenz auf Gategenerator (3), der den ROC aktiviert.

Bei Programmstart wird durch ACK4 der Gategenerator (2) gestartet, wodurch der ROC verriegelt wird, und durch den Gategenerator (4) erneut Trigger zugelassen werden. Nach Abarbeitung des aktuellen Triggers wiederholt sich das gleiche, wie bei Programmstart.

Aufbau zur Messung von Zählratenkurven

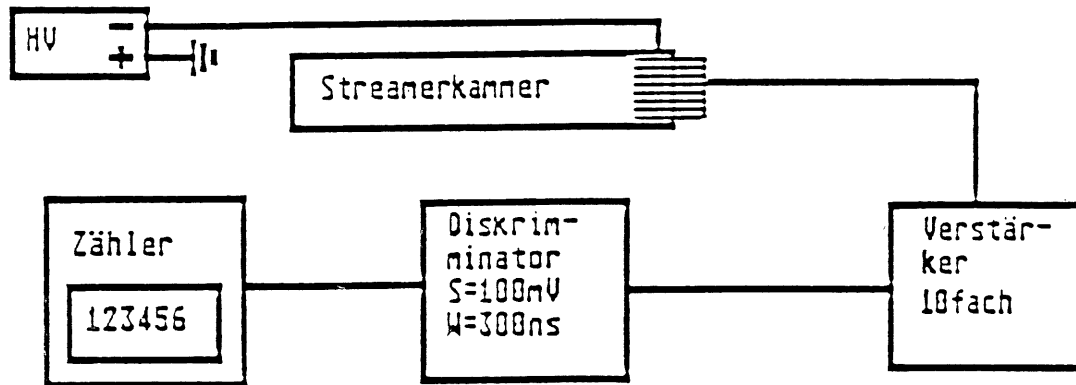


Abbildung 16: Anordnung zur Messung der Zählratenkurve

5 Charakteristika einer H1-Streamerrohrkammer

Vorgestellt werden alle Betriebseigenschaften, wie Ladungsspektrum, Stromzeitverhalten und Nachweiswahrscheinlichkeit von den H1-Streamerkammern an Hand eines typischen Profils. Es handelt sich dabei um ein Profil, das aus dem Langzeittest exemplarisch ausgesucht wurde. Kriterium für die Auswahl waren:

- Das Profil sollte möglichst lange im Test gewesen sein
- Ladungsspektrum und Stromverlauf sollten dem gemittelten Spektrum aller Kammern entsprechen. (Siehe Abbildung 20 und Abbildung 21).

Im folgenden werden Hochspannungs-Zählratenkurve, Stromverlauf, Ladungsspektrum und Nachweiswahrscheinlichkeit des Profils dargestellt.

5.1 HV-Zählratenkurven

Eine Zählratenkurve gibt die Signalrate in Abhängigkeit von der Hochspannung an. Die Zählratenkurve wird ohne jede Nebenbedingung aufgenommen. Abbildung 16 zeigt die Meßanordnung. Ein achtpoliger Auslestecker verbindet ein mit Gas gespültes H1-Streamerrohrprofil über einen Verstärker¹³ und einen Diskriminator mit einem Pulszähler. Mit dem Diskriminator wird den Streamersignalen eine Schwelle zur Rauschunterdrückung gesetzt.¹⁴ Der Diskriminatorpuls muß zusätzlich auf eine gewisse Breite eingestellt werden, damit Nachpulse bei der Zählratenmessung unterdrückt werden. Nachpulse sind Pulse die einige Nanosekunden nach dem Hauptpuls auftreten und vom gleichen Teilchendurchgang stammen. Mit zunehmender Hoch-

¹³10fach Verstärker Phillips

¹⁴Da man kann mit dem Diskriminator keine Schwellen < 30 mV einstellen kann, wurde der Verstärker zwischengeschaltet.

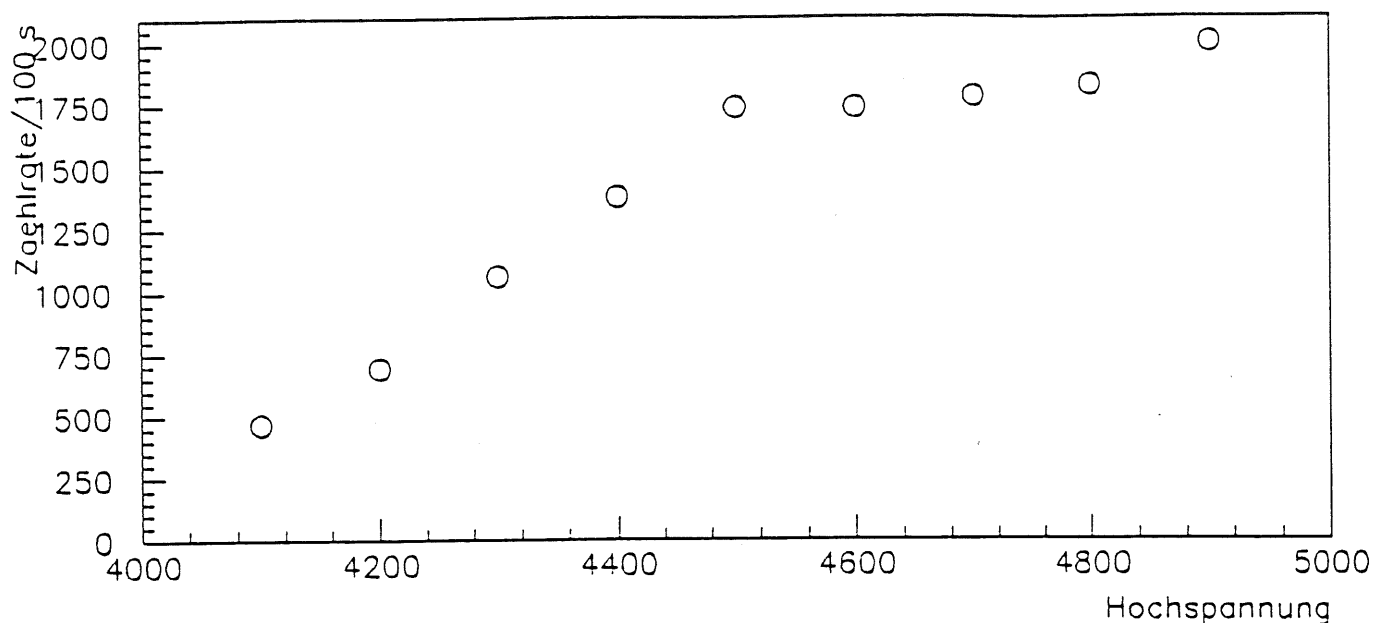


Abbildung 17: Eine Hochspannungs-Zählratenkurve. Auf der Abzisse ist die Hochspannung in Volt aufgetragen und auf der Ordinate die Zählrate in Ereignisse pro 100 Sekunden.

spannung kommen sie gehäuft vor. Hier wurde mit einer Diskriminatorschwelle von 100 mV, einer Verstärkung von 10 was einer effektiven Schwelle von 10 mV entspricht gemessen. Eine 10 mV hohe Schwelle unterdrückt das Rauschen und läßt alle Signale zu. Zusätzlich wurde eine Diskriminatorpulsbreite von 300 ns eingestellt, damit Nachpulse nicht zur Rate beitragen. Erwünscht ist ein stetiger Anstieg bis zur maximalen Nachweiswahrscheinlichkeit der Kammer und daran anschließend erwartet man ein breites Plateau (300 - 500 V Breite).

Um beim späteren Meßbetrieb der Kammer nicht von kleinen Temperatur- oder Druckschwankungen in der Nachweiswahrscheinlichkeit beeinflusst zu werden, wird der Arbeitspunkt um 100 bis 150 V vom Plateaubeginn weggerückt.

Für eine Auswahl von Profilen wurden HV-Zählratenkurven aufgenommen, um sicherzustellen, daß deren Arbeitspunkt richtig eingestellt ist, d.h. 100-150 V vom Plateaubeginn weggerückt. Erwartet wird eine Zählrate von $200 \frac{\text{Pulse}}{\text{sec}}$ für ein 1 m langes Profil, wenn eine natürliche Myonrate von $\sim \frac{10^{-2}}{\text{cm}^2 \text{sr}}$ pro sec zugrunde gelegt wird [16].

Abbildung 17 zeigt eine Hochspannungs-Zählratenkurve für das ausgewählte Profil.

Mit dem neuen Gassystem wurden Zählratenkurven für verschiedene Gasmischungen aufgenommen. Abbildung 18 zeigt für sechs unterschiedliche Isobuthananteile am Gasgemisch die jeweils zugehörigen Hochspannungs-Zählratenkurven. Mit abnehmendem Anteil Isobuthan am Gasgemisch sinkt die Spannung bei der das Plateau beginnt und die Gesamtlänge des Plateaus verringert sich. In Abbildung 19 sind Plateaubeginn und Plateauende für die Zählratenkurven sechs verschiedener Gasmischungen dargestellt. Mit zunehmendem Isobuthananteil an der Gasmischung steigt die Hochspannung mit der das Plateau einsetzt; außerdem verbreitert sich das Plateau. Mit einer Argon-Isobuthanmischung 1:1.5 erhält man immerhin schon ein ca. 400 Volt breites Zählratenplateau (im Hochspannungsbereich von 3900 bis 4300 Volt). Theoretisch könnten die Testmessungen mit einem um die Hälfte reduzierten Isobuthananteil bei einer

Hv-Zählratenkurven

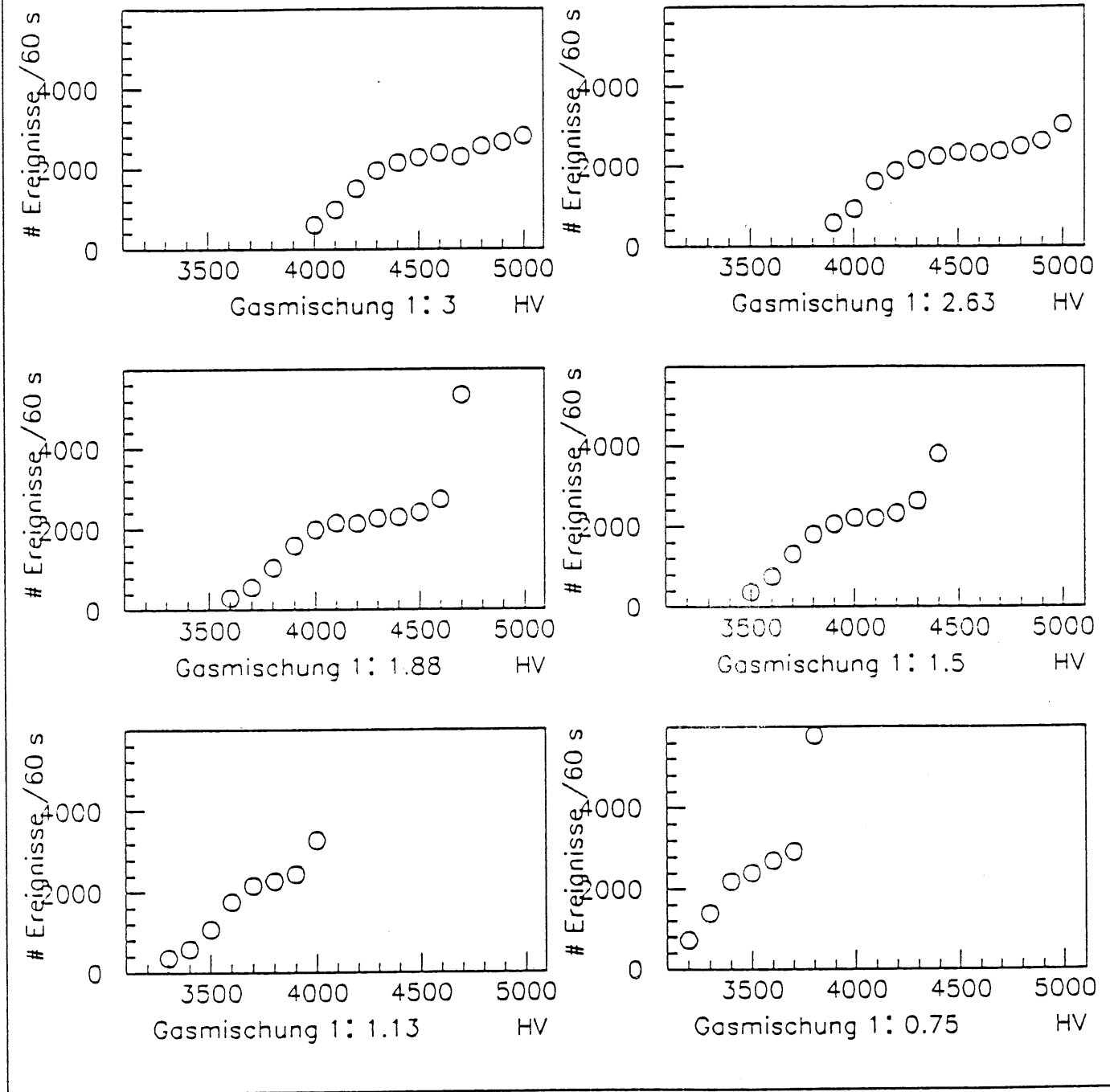


Abbildung 18: Sechs verschiedene Zählratenkurven für Gasmischungen Argon-Isobuthan zwischen 1:3 und 1:0.75

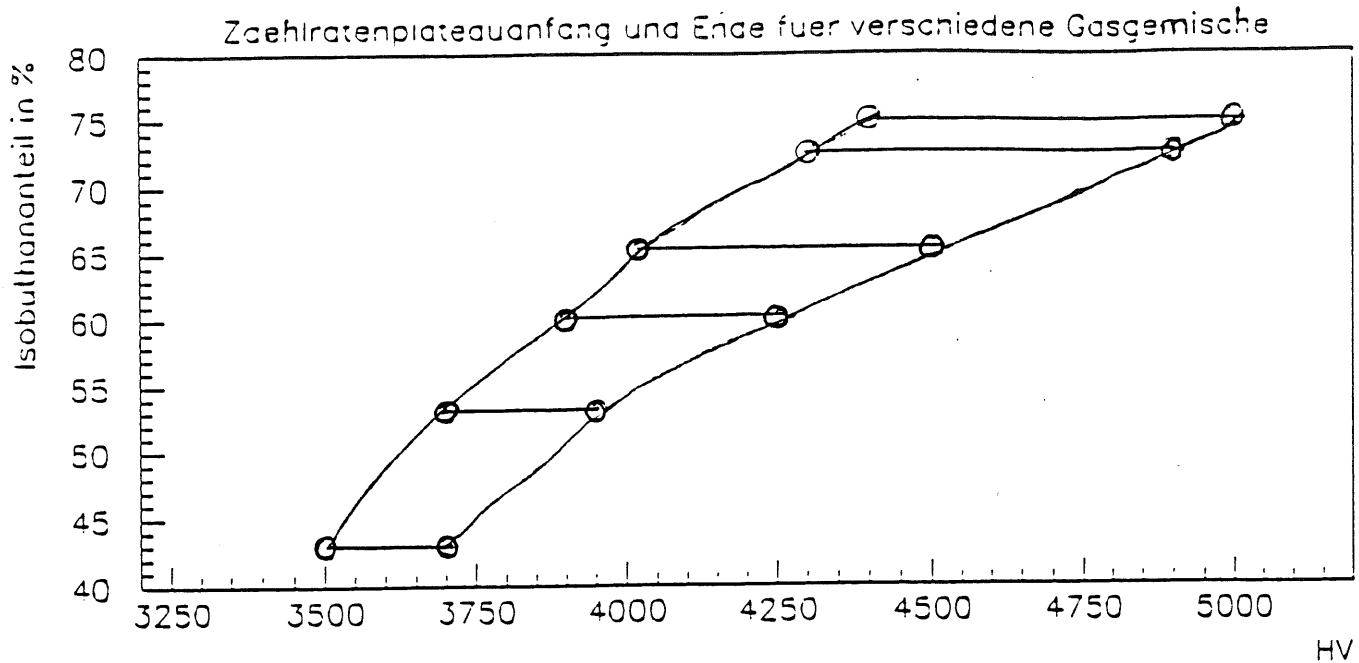


Abbildung 19: In der Abbildung sind jeweils Plateaubeginn und Plateauende für verschiedene Gasmischungen aufgetragen. Mit zunehmendem Isobuthananteil nimmt die Plateaubreite zu.

Hochspannung von 4000 Volt durchgeführt werden.

5.2 Kammerstrom

Der Anodenstrom wird ohne jede Nebenbedingung alle 30 Sekunden vom Strommeßgerät gemessen. Ein Meßzyklus dauert pro Kanal ungefähr eine 1/10 Sekunde. Der Strom wird also über eine viel längere Zeit gemessen, als ein Streamerrohrkammersignal lang ist (ca. 100 ns). Also wird nicht nur der Strom gemessen, der von dem durchgehenden Teilchen erzeugt wird, sondern auch eventuelle Dunkelströme. Deshalb ist der Strom ein guter Indikator für Mängel der Kammern.

Abbildung 20 zeigt ein Strom-Zeit-Diagramm für ein Profil. Eine mögliche Erklärung für die starken kurzzeitigen Schwankungen im Anodenstrom ist, daß das Strommeßgerät nicht über die unterschiedliche Belastung der Kammer durch Teilchendurchgänge mittelt. Im statistischen Mittel bleibt der Strom konstant.

Die typischen durch Teilchendurchgänge verursachten mittleren Stromwerte bei der Standardgasmischung liegen bei 4-8 nA pro Meter Streamerrohrprofil.

5.3 Ladungsspektren

Die Ladung wird im Gegensatz zum Strom zu ganz bestimmten Zeiten gemessen, nämlich immer dann, wenn der Trigger ein Myon ankündigt wird für die Länge des Streamersignals (oder länger, um sicherzugehen, daß es auch vollständig im Zeitfenster liegt) das ADC empfindlich (Öffnungszeit 250 ns). Abbildung 21 zeigt ein typisches Ladungsspektrum. Aufgetragen ist die Häufigkeit mit der ein bestimmter Ladungswert während einer Messung vorkommt. Der Mittelwert der Verteilung beträgt 23.3 pC mit einer Breite von 18 pC. Er wird durch die Energie der nachgewiesenen Teilchen bestimmt. Die Ladungsverteilung erhält ihre Form aus einer Überlagerung von zwei statistischen Prozessen, die Energieabgabe durch die natürliche

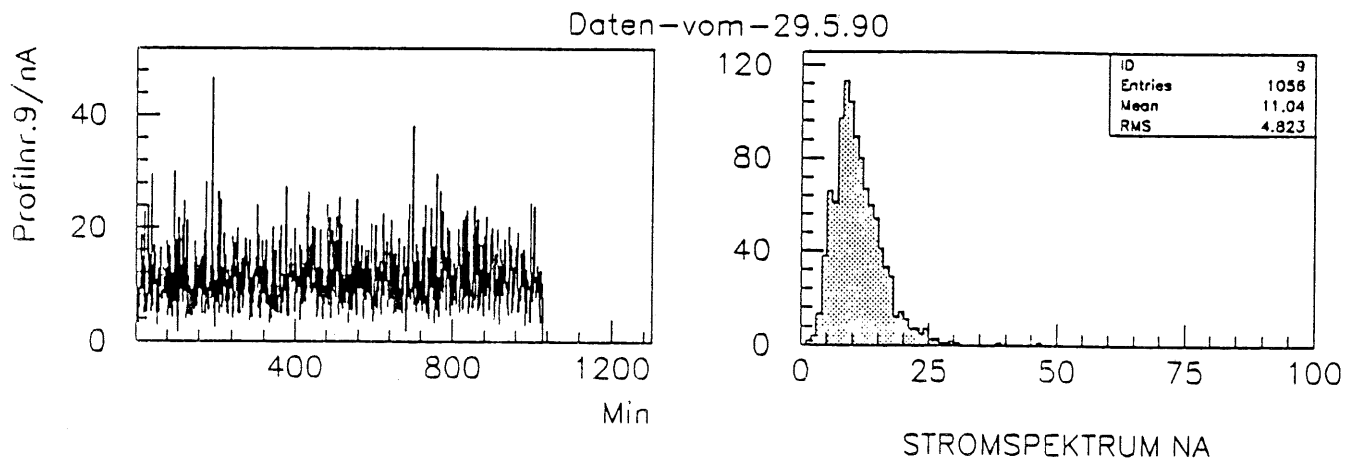


Abbildung 20: Für ein Profil ist der zeitliche Stromablauf aufgetragen. Als Normalstrom wird der Strom bezeichnet, den die Kammern im Mittel pro Meter Kammerprofil zeigen. Er beträgt 4 - 8 nA pro Meter Profil. Im Mittel bleibt der Strom konstant. Rechts sind alle Stromwerte in ein Histogramm eingetragen. Der Strommittelwert beträgt 11.04 nA. Das Profil Nr.9 ist 2.56 m lang, d.h. der mittlere Strom pro Meter Profil beträgt 4.3 nA.

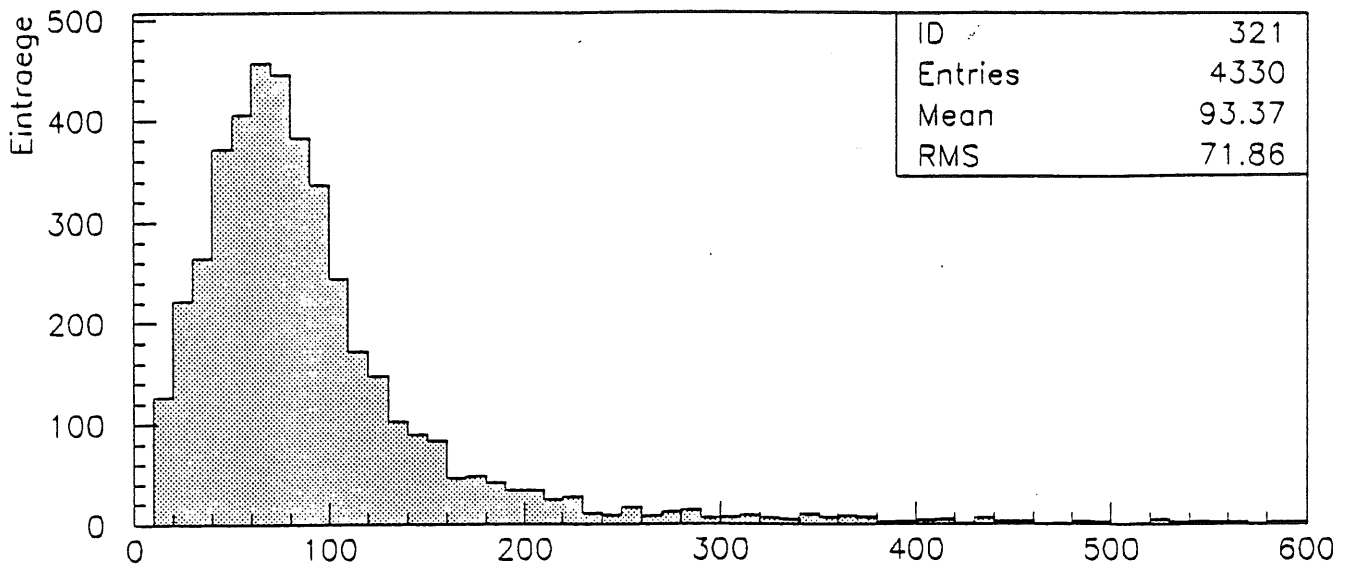


Abbildung 21: Ladungsspektrum für eine Kammer, Mittelwert und die Breite (σ_{RMS}) sind der Abbildung zu entnehmen (1 ADC-Kanal = $\frac{1}{4}pC$).

Myonrate und durch den Gasverstärkungsprozeß . Gasgemisch, Hochspannung, Temperatur und Druck beeinflussen den Mittelwert (siehe Kapitel 6).

Die Form des Spektrums ist asymmetrisch und entspricht qualitativ einer Landauverteilung.

Das Ergebnis einer χ^2 Anpassung an die Daten ist in Abbildung 22 angegeben. Variiert wurden die Parameter P_1, P_2 und P_3 . Folgende Parametrisierung der Landauverteilung wurde benutzt.

$$L(\lambda) = P_1 * \exp\left(-\frac{1}{2}(\lambda + \exp(-\lambda))\right)$$

$$\lambda = \left(\frac{Q - P_2}{P_3}\right)$$

Dabei bedeuten die Parameter:

Q: Ladung

P_1 : Normierungsfaktor der Landauverteilung

P_2 : Parameter, der die Verteilung entlang der x-Achse verschiebt.

P_3 : Parameter, der die Verteilung verformt.

5.4 Nachweiswahrscheinlichkeit

Zur Bestimmung der Nachweiswahrscheinlichkeit wurde mittels der beiden Triggerkammern eine Spur durch die einzelnen Profile rekonstruiert (Abb. 23). Für jedes Ereignis wurde für beide Ebenen die jeweils getroffene Drahtnummer aufgezeichnet. Aus diesen beiden Stützpunkten und aus den Positionen der Kammern konnte mittels linearer Regression eine Gerade durch die zu beobachtenden Profile rekonstruiert werden. Aus der relativen Position in horizontaler Richtung zwischen Triggerebenen und Profilen wurde der genaue Durchstoßpunkt der Myonen durch die Profile bestimmt.

In Betracht gezogen wurden nur diejenigen Ereignisse mit Spuren, die laut Rekonstruktion das jeweilige Profil durchdrungen haben. Als Nachweiswahrscheinlichkeit einer Kammer wurde

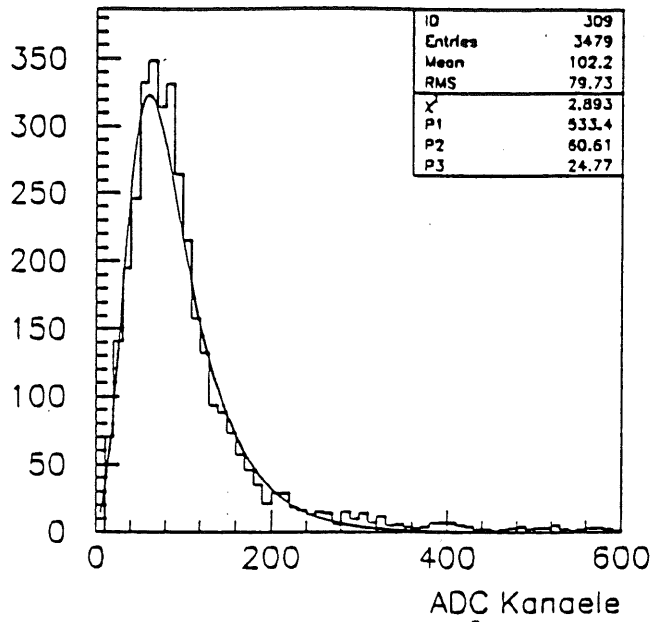


Abbildung 22: Dargestellt ist ein Ladungsspektrum mit einer angepassten Parameterfunktion. Aus der Legende rechts oben kann man die Parameter P_1, P_2, P_3 und das minimale χ^2 entnehmen. Die Parameterfunktion ist $L(\lambda) = P_1 * \exp(-\frac{1}{2}(\lambda + \exp(-\lambda)))$, $\lambda = (\frac{Q - P_2}{P_3})$, Q : Ladung

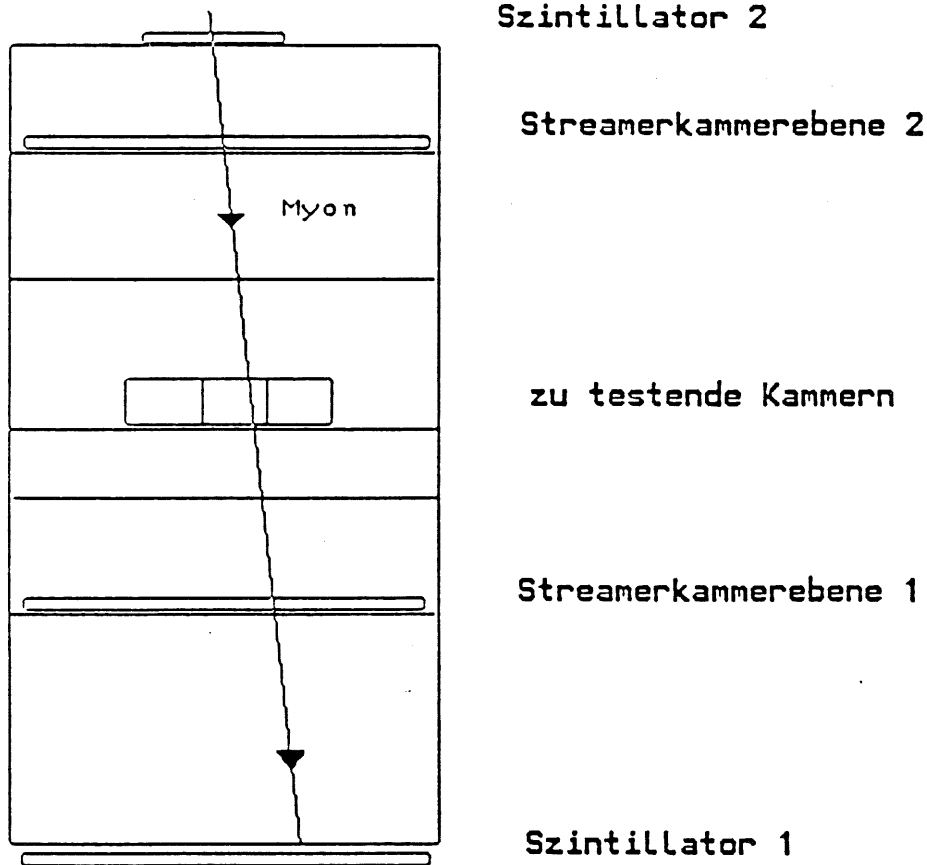


Abbildung 23: Spurrekonstruktion durch die einzelnen Profile mit Hilfe der Triggerkammern.

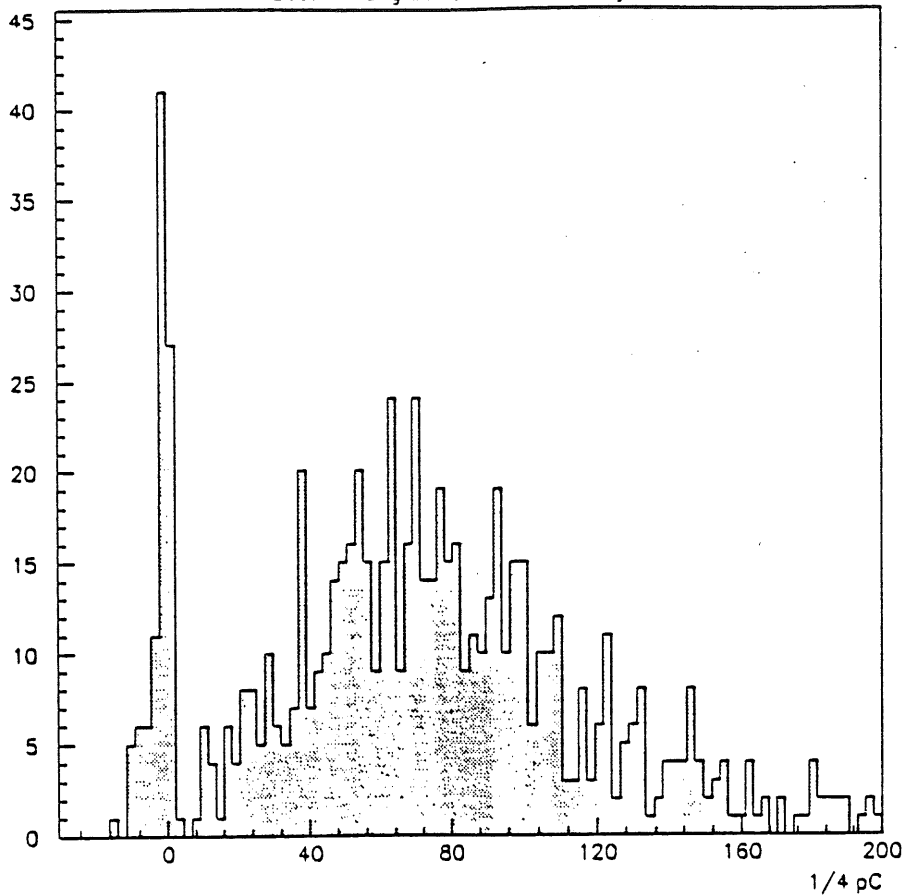


Abbildung 24: Ladungsspektrum mit auf Null korrigierten Sockelwerten (Pedestal, 2-5 pC). Der Pfeil zeigt an, wo die Schwelle gesetzt wurde.

der Quotient aus der Anzahl der Ereignisse, wo die Kammer ein Streamersignal zeigte zur Gesamtzahl der rekonstruierten Ereignisse gebildet.

Nachweiswahrscheinlichkeit einer Kammer:

$$\epsilon := \frac{N_{\text{Signal}}}{N_{\text{Gesamt}}}$$

Als Streamer akzeptiert wurde ein Signal, das mehr als 2.5 pC im ADC hinterlassen hat. Abbildung 24 zeigt, wie die Schwelle für das Signal gewählt wurde.

Abbildung 25 zeigt die Nachweiswahrscheinlichkeit der ausgewählten Kammer über einen Zeitraum, der in der Meßperiode mit dem neu installierten Gassystem liegt. Im Mittel liegt die Nachweiswahrscheinlichkeit der Kammer, wenn keine besonderen Kriterien an die Myonspuren gestellt werden, außer den oben erwähnten, bei 96 %. Bei der vorhandenen Triggergeometrie werden auch schräge Spuren zugelassen, so daß man eine Nachweiswahrscheinlichkeit zwischen 90 % (geometrische Nachweiswahrscheinlichkeit, wenn nur senkrechte Spuren zugelassen sind) und nahe 100 % erwartet.

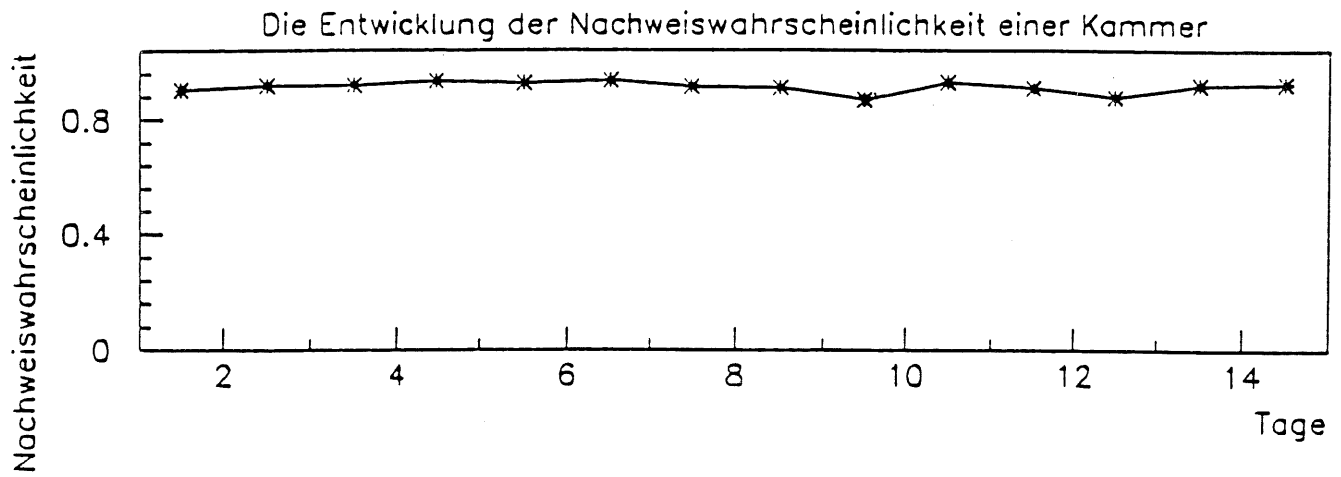


Abbildung 25: *Entwicklung der Nachweiswahrscheinlichkeit einer Kammer in dem Zeitabschnitt als das neue Gassystem installiert war.*

Kammerlänge m	Anzahl	Ausfälle	Besonderheiten
1.0	2	0	0
1.98	2	0	0
2.50	4	1	0
3.20	3	0	0
4.60	17	1	1
Summe	28	2	1

Tabelle 6: Betriebsstatistik aller Kammern

6 Ergebnisse

6.1 Die Auswertung

Innerhalb von sechs Monaten sind täglich für alle sich zu dem Zeitpunkt im Test befindenden Profile Ladungsspektren und Stromverläufe aufgezeichnet worden. Die Kammern wurden durchgehend mit Gas versorgt und standen unter Hochspannung. Es existiert also für jeden Tag und für alle Kammern der Stromverlauf über 10 bzw. 20 Stunden und zugehörig ungefähr 1000 ± 300 Ereignisse pro Tag und Profil.

Tabelle 6 gibt eine Zusammenfassung der Betriebstatistik der Kammern an. Insgesamt befinden sich 28 Kammern im Langzeitest. In Anhang A gibt es eine Auflistung der Produktionsnummern der Kammern und wann sie im einzelnen in den Langzeitest eingetreten sind.

6.1.1 Der Kammerstrom

Es soll versucht werden aus den vielen Daten ein Resultat zu gewinnen über das allgemeine Stromverhalten von H1-Streamerrohrkammern. Wie schon in Abschnitt 5 erwähnt geben die Anodenströme der Kammern Auskunft über ihre Qualität, während die Ladungsspektren nur ein mäßiger Indikator für Kammerschäden sind. Abbildung 26 zeigt ein Ladungsspektrum und einen Stromverlauf für ein 'schlechtes' Profil. Beide Bilder sind dem Produktionstest entnommen. Erfahrungsgemäß haben Profile mit so hohen Strömen (Mittelwert 91 nA) und starken Stromschwankungen oft nur eine kurze Lebensdauer (2-3 Tage Hochspannung), obwohl ihre Ladungsspektren akzeptabel sind. In der Praxis werden solche Profile erneut einem Test unterzogen und falls sich ihr Stromverhalten normalisiert werden sie als 'gut' akzeptiert.

In Abbildung 27 ist für alle Profile aufgetragen mit welcher Häufigkeit ein bestimmter mittlerer Strom auftritt, wenn alle Kammerströme auf einen Meter normiert sind. Der mittlere Strom liegt bei 5.9 nA. Der Strom der meisten Profile liegt zwischen 5 und 6 nA pro Meter. 95 % aller Kammern haben einen mittleren Strom pro Profilmeter, der unterhalb von 10 nA liegt. Dieses ist eine Obergrenze des Stromes für H1-Streamerrohrkammern. Alle Profile die oberhalb dieser Grenze anzuordnen sind, zeigen ein anormales Verhalten, das sich gewöhnlich in geringer Nachweiswahrscheinlichkeit und schwankenden Ladungsmittelwerten äußert. Bei zwei Profilen traten bei hohen Strömen außergewöhnlich hohe Ladungsmittelwerte auf (7-8 fach so groß wie der Durchschnitt). In Abschnitt 6.2 werden diese Profile näher untersucht.

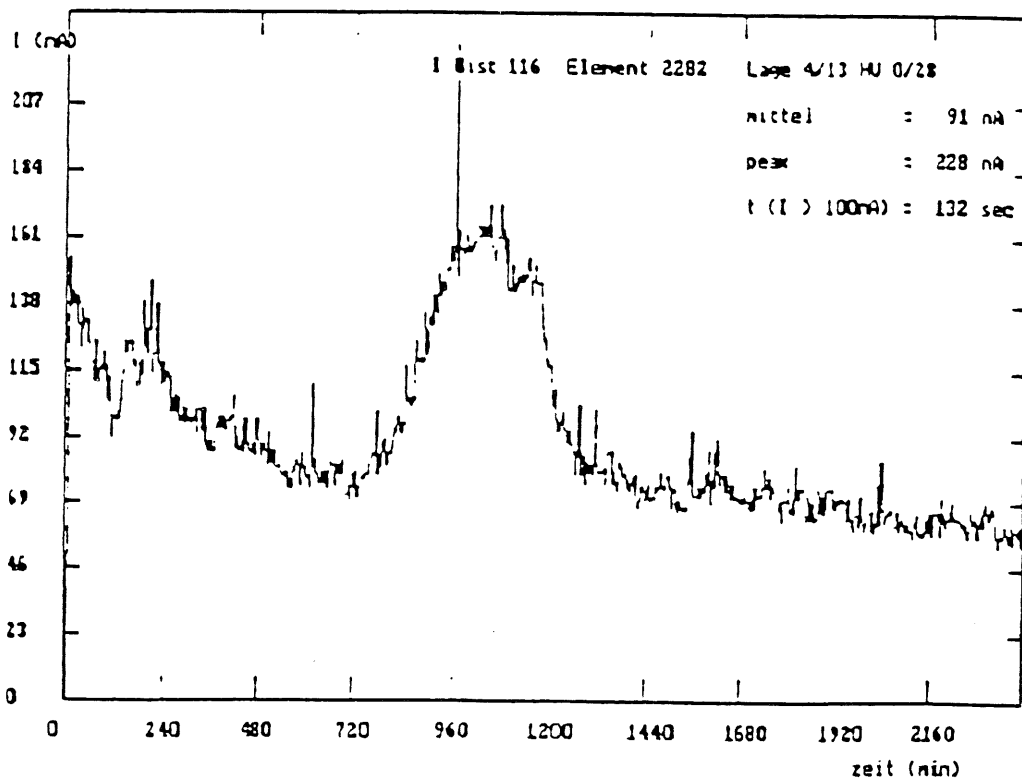
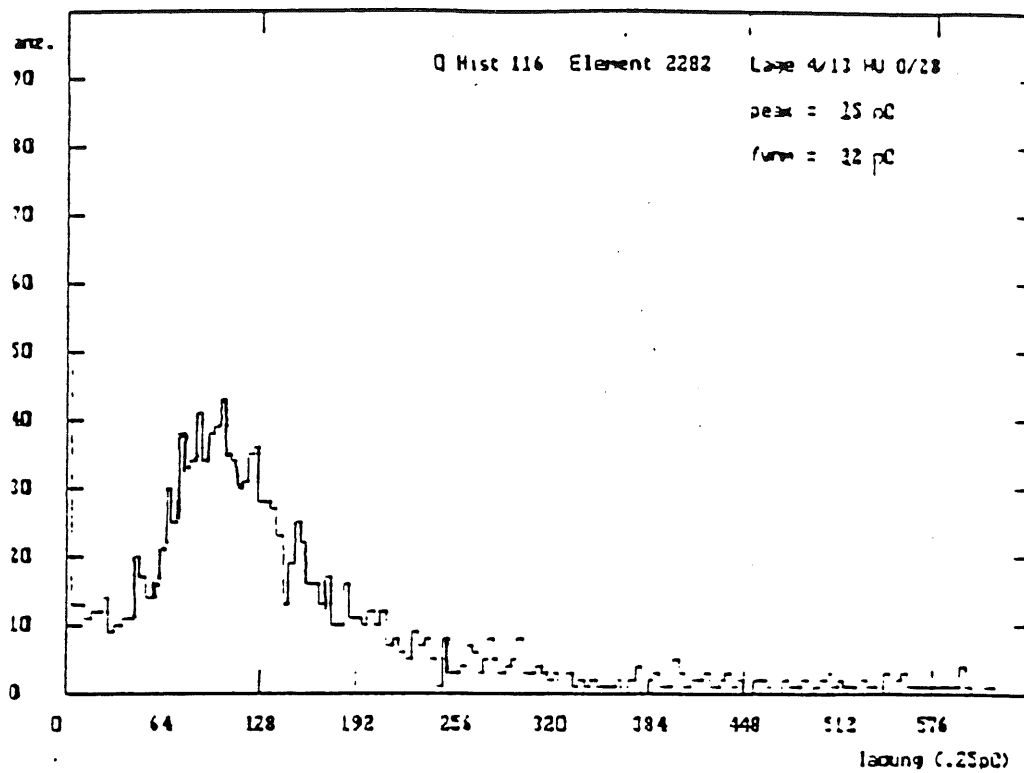


Abbildung 26: Die Abbildung zeigt ein Ladungsspektrum und einen Stromverlauf eines Profils aus dem Produktionstest [17]. Das Ladungsspektrum mit einem Mittelwert von 22 pC entspricht der Erwartung an ein durchschnittliches Ladungsspektrum. Der Stromverlauf ist schwankend und liegt mit 91 nA im Mittel weit oberhalb eines durchschnittlichen Stromverlaufs (5-6 nA, siehe Abbildung 20).

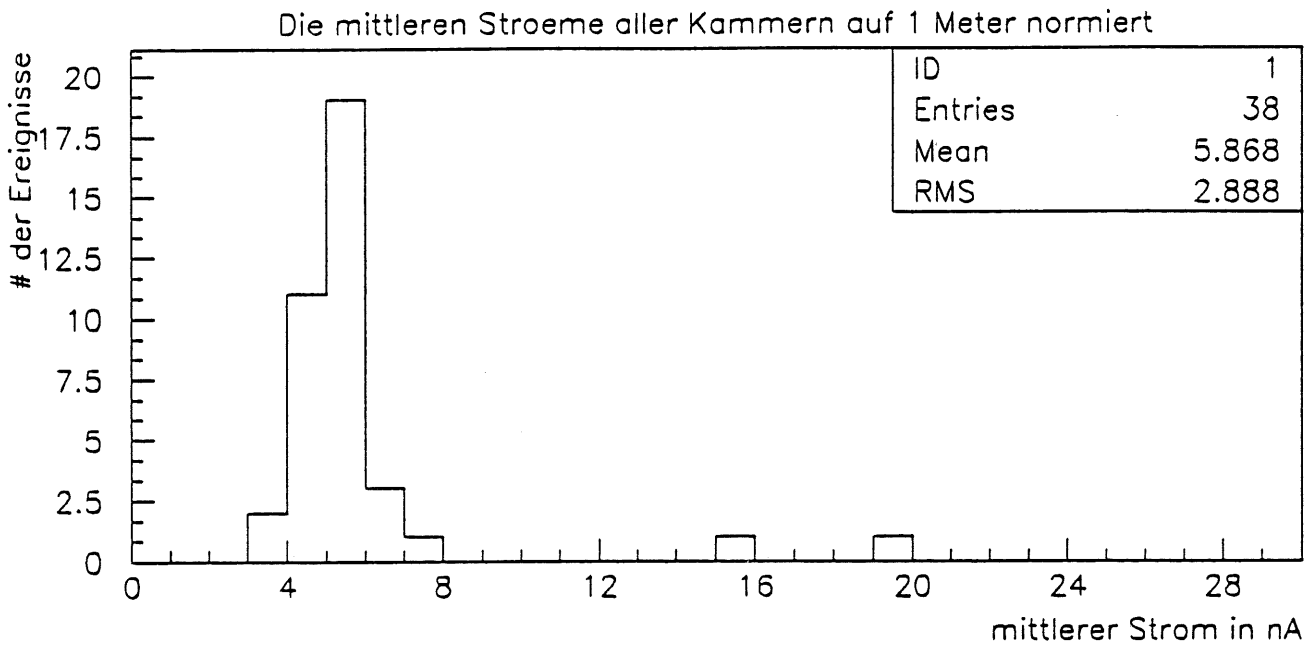


Abbildung 27: Die Abbildung zeigt die mittleren Ströme aller Kammern. Der Strom der meisten Kammern liegt pro Meter Profil zwischen 5 und 6 nA. Die Profile mit höheren Strömen (> 10 nA pro Meter Profil) zeigen ein anormales Verhalten in den Ladungen.

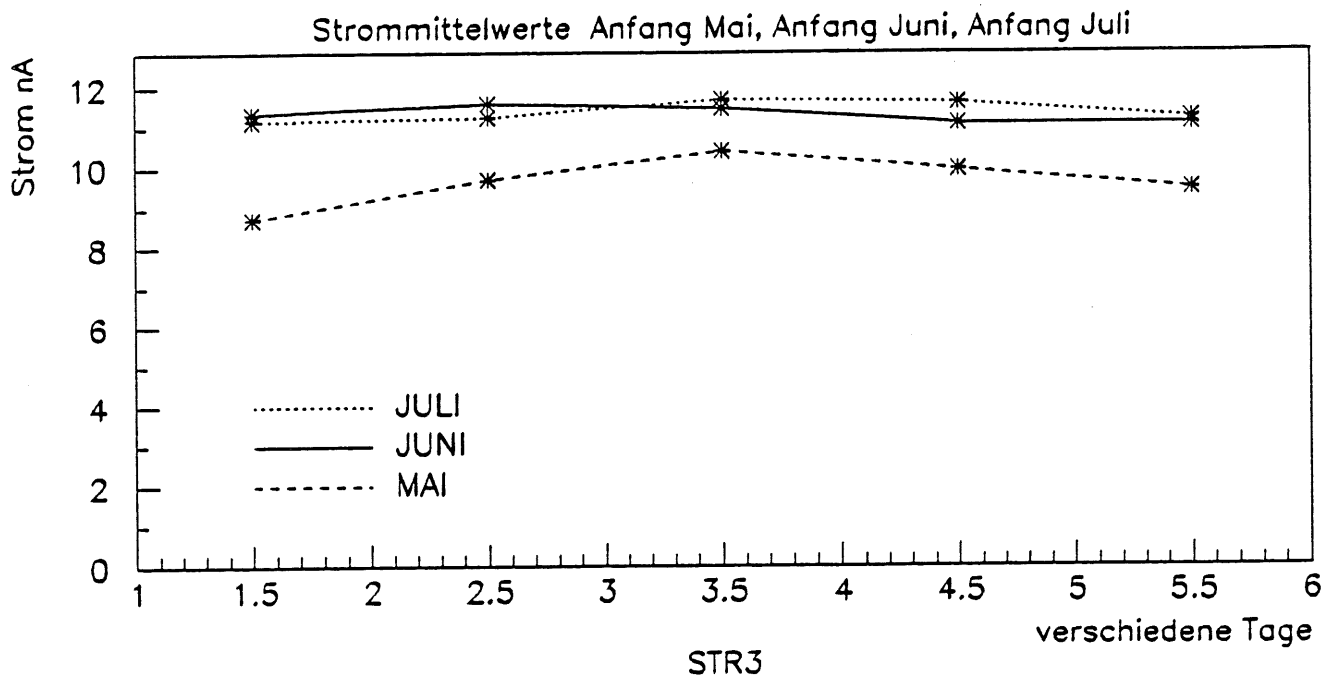


Abbildung 28: Hier sieht man die mittleren Stromwerte für ein Profil über drei verschiedene Meßperioden. Die durchgezogene Kurve zeigt den Stromverlauf für das 'alte' Gassystem. Die gestrichelte und die punktierte Kurve wurden mit dem neuen Gassystem gemessen. Die Stromwerte einer Kammer zeigen auch langfristig einen konstanten Verlauf.

Abbildung 28 zeigt die Verläufe der mittleren Stromwerte von den ersten Woche im Mai, aus der zweiten Junihälfte, und einigen Tagen Ende Juli. Die drei Kurven sind jeweils Ausschnitte aus den zwei verschiedenen Meßperioden, wo mit unterschiedlichen Gassystemen gemessen wurde. Die Monate Januar, Februar, und März wurden in den Auswertungen nicht berücksichtigt, da wegen der starken Gasmischungsschwankungen keine definierten Aussagen über den Zustand der Kammern gemacht werden konnten. Im Anhang B finden sich Strom-Zeit-Diagramme für alle Kammern an einem bestimmten Tag.

Die Drahtladungsspektren und die Ströme hängen von den äußeren Parametern Luftdruck und Temperatur ab. Abbildung 29 zeigt die Abhängigkeit des Anodenstroms vom Luftdruck. Mit steigendem Druck sinkt der Anodenstrom. Für diese spezielle Kammer ergibt sich eine Stromänderung von $0.74 \% \pm 0.23$ pro mbar Luftdruckänderung. Abbildung 30 zeigt die Abhängigkeit des Anodenstromes einer Kammer vom Argonanteil. Der Argonfluß wurde zwischen 20 % und 25 % variiert. Das entspricht einem Argonfluß zwischen $45 \text{ cm}^3/\text{min}$ und $70 \text{ cm}^3/\text{min}$. Mittels linearer Regression wurde eine Abhängigkeit der Ströme vom Argonanteil an der Gasmischung bestimmt. Aus den Werten für 20 % und 25 % Argonanteil wurde eine 9.5%tige Änderung im Anodenstrom pro 1% Änderung im Argonanteil ermittelt.

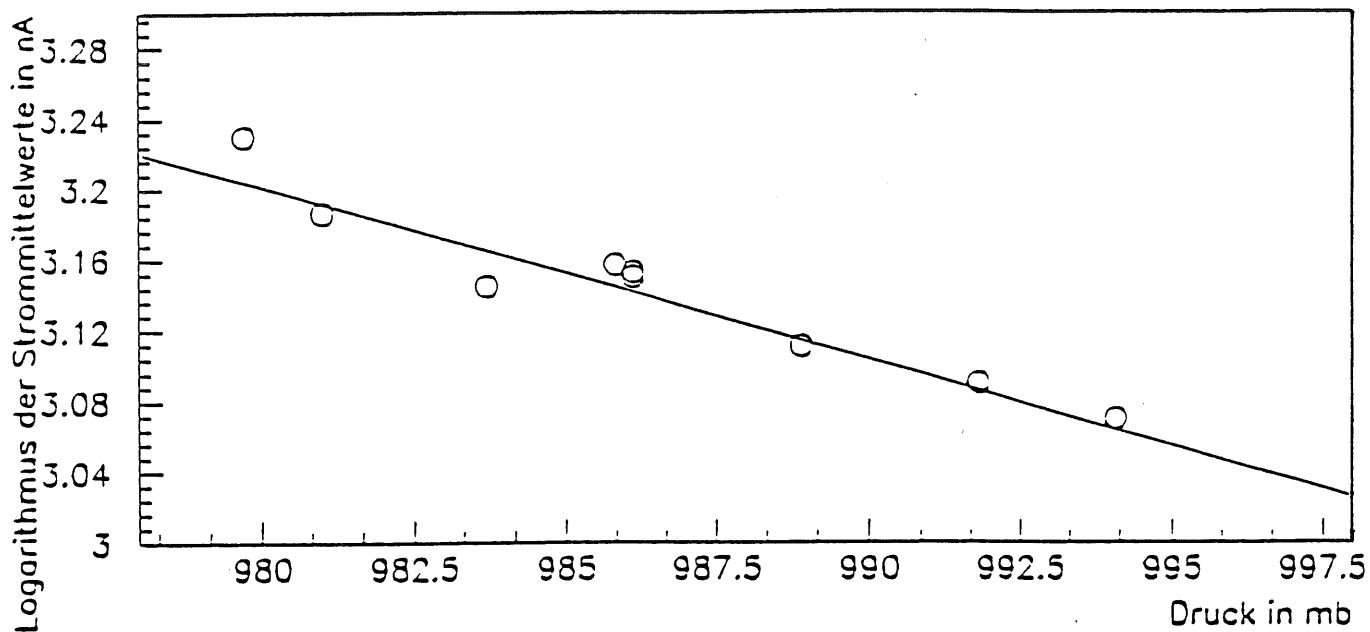


Abbildung 29: Die Abbildung zeigt die Abhängigkeit des Anodenstroms der Kammer vom Luftdruck. Der Strom ist logarithmisch augetragen. Es ergibt sich eine Abhängigkeit von $I = e^{-b \cdot p + a}$
 $b = -0.00996, a = 12.9$ I: Strom, p: Ladung

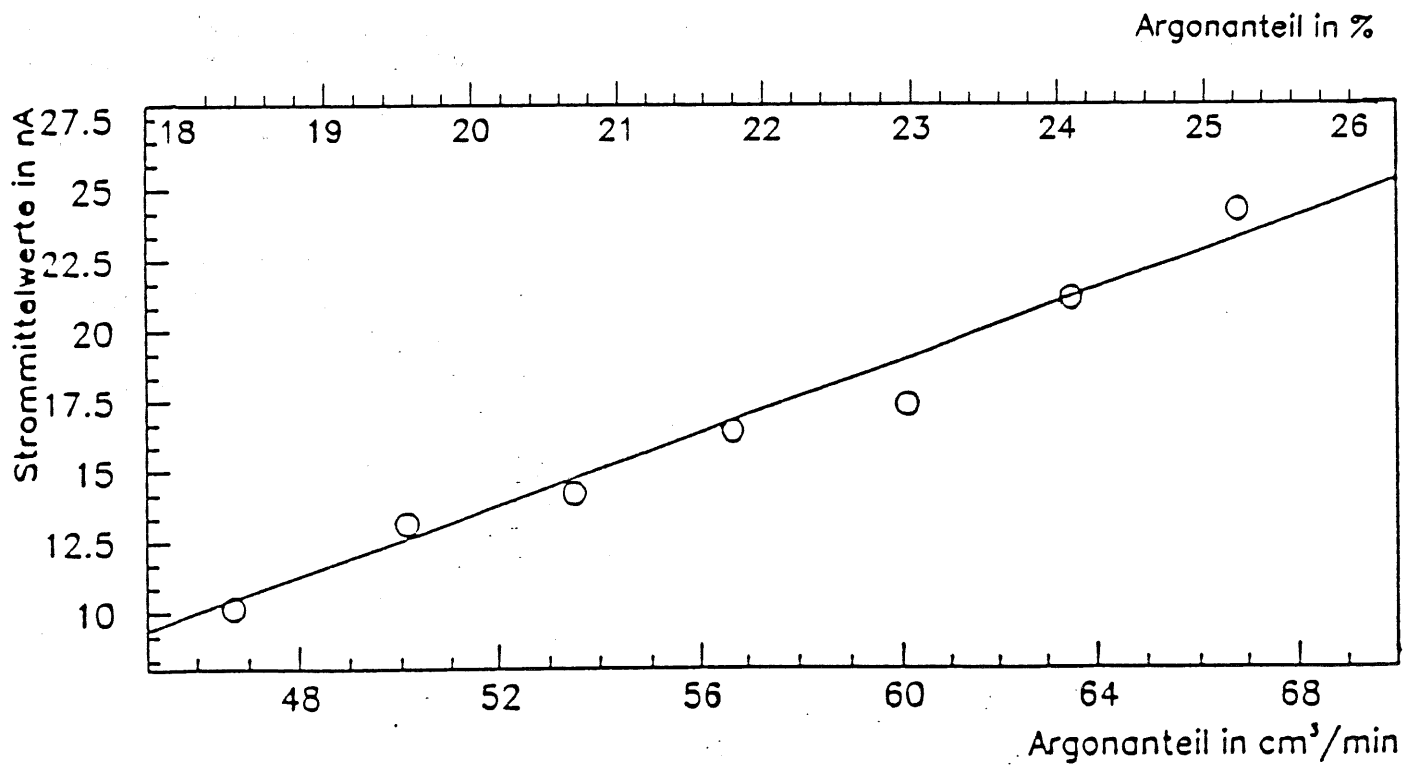


Abbildung 30: Die Abhängigkeit des Anodenstroms vom Argonanteil.

	Stromänderung	Ladungsänderung
Luftdruckänderung (1 mbar)	0.74%	0.88%
Änderung im Argonanteil (1%)	9.5%	3.4%

Tabelle 7: Abhängigkeiten von Gasmischung und Luftdruck von Strom- und Ladungsmittelwerten

6.1.2 Die Ladungsspektren

Für jeden Tag wurde ein Ladungshistogramm erstellt, außerdem wurde ein Summenspektrum über die einzelnen Wochen erstellt (Abbildung 31). Die Histogramme zeigen die Häufigkeit, mit der ein bestimmter ADC-Kanal vorgekommen ist (1 ADC-Kanal entspricht 0.25 pC). Die Mittelwerte der beiden Spektren liegen nur 0.5 pC auseinander. Das zeigt, daß bei gleichbleibenden Bedingungen (Gasmischung, Druck und Hochspannung) die Mittelwerte der Spektren reproduzierbar sind.

Der Ladungsmittelwert kann also als Maß für die Verschiedenheit der Spektren betrachtet werden. Abbildung 32 zeigt drei Ladungsspektren in den verschiedenen Meßabschnitten. Gewöhnliche Ladungsspektren hatten Mittelwerte von etwa 30-50 pC. Bei zwei Profilen aus unterschiedlichen Kammern lagen die mittleren Ladungswerte weit höher, und zwar bei 130-180 pC. Um eine genauere Aussage über die Form der Spektren zu gewinnen, werden noch die Halbwertsbreiten (σ_{RMS}) hinzugezogen. Abbildung 33 zeigt die Mittelwerte der Ladungsspektren für drei verschiedene Zeitperioden. Es handelt sich immer um dasselbe Profil. Die erste Periode ist durch starke Schwankungen in den Mittelwerten der Ladungsspektren gekennzeichnet. Diese Schwankungen sind eindeutig auf Schwankungen im Argonfluß zurückzuführen. In der Aprilperiode wurde dieser Mißstand durch einen neuen Durchflußmesser und ein neues Ventil behoben. Die Meßpunkte zeigen einen glatten Verlauf, liegen im Mittel allerdings um 15 pC niedriger als zuvor. In der dritten Meßperiode, im Juni kamen die neuen Massendurchflußmesser zum Einsatz. Die Ladungsmittelwerte bleiben konstant und erreichen den ursprünglichen Wert von Januar. Die Abbildung 34 zeigt die Abhängigkeit der Ladungsmittelwerte einer Kammer vom Luftdruck. Es ergibt sich eine Änderung des Ladungsmittelwertes um 0.88 % \pm 0.16 bei einem mbar Luftdruckänderung.

In Abbildung 35 ist die Abhängigkeit der mittleren Ladungen vom Argonanteil an der Gasmischung aufgetragen. Es besteht ein linearer Zusammenhang. Mittels linearer Regression wurde die prozentuale Änderung im Ladungsmittelwert bei einem Prozent Änderung im Argonanteil ermittelt. Sie beträgt 3.4 %. In Anhang C befinden sich Ladungsspektren für alle Kammern. In Tabelle 7 sind die Luftdruckabhängigkeiten und Gasmischungsabhängigkeiten von Strom und Ladung zusammengefaßt.

6.1.3 Zusammenhang zwischen Ladungspuls und Kammerstrom

Die während einer Gasentladung gebildeten Elektronen und Ionen driften im elektrischen Feld der Kammer auf Kathode und Anode zu, so daß jede Streamerentladung zu einer gewissen Spannungsverringerng der Kammer führt. Der Kammerstrom ist der Strom, welcher von

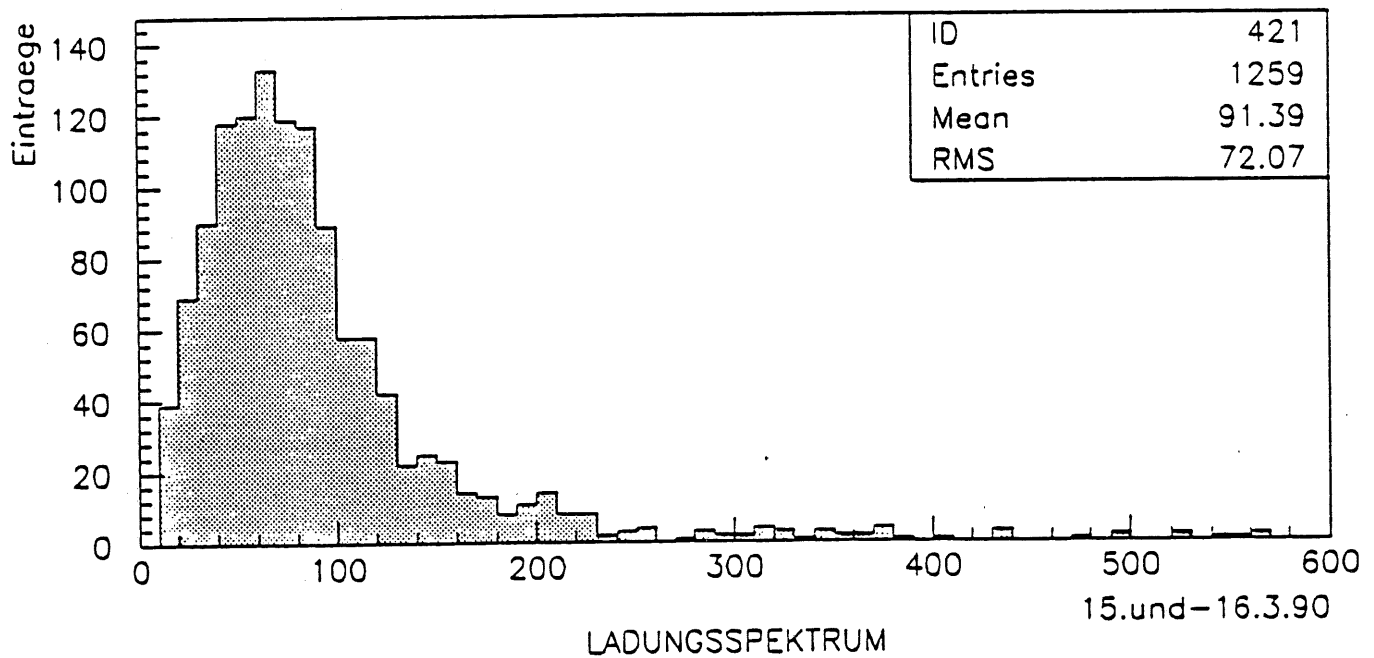
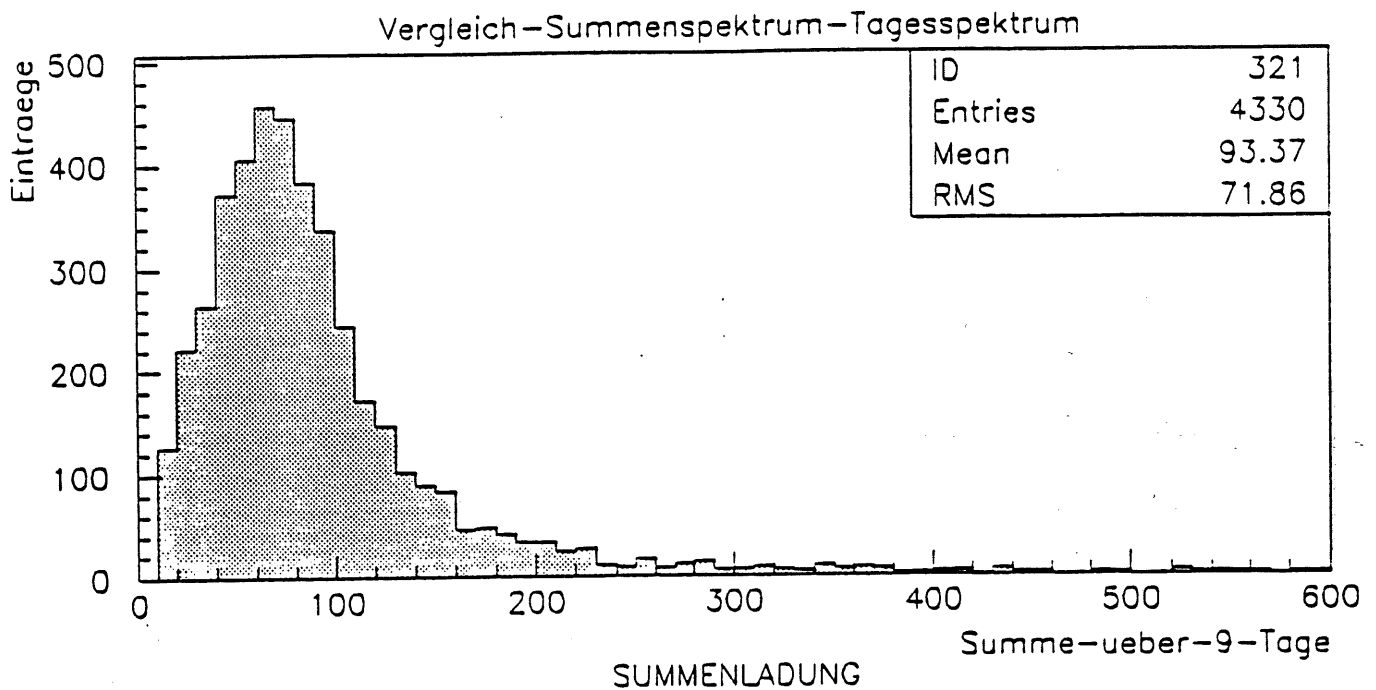


Abbildung 31: Hier sieht man eine Gegenüberstellung von einem Ladungshistogramm, das innerhalb von zwei Tagen entstanden ist und einem Ladungshistogramm, das über 9 Tage aufsummiert ist. Aufgetragen ist die Häufigkeit mit der ein bestimmter ADC-Kanal auftritt (1 ADC-Kanal entspricht 0.25 pC).

Summenladungsspektren zu drei verschiedenen Messperioden

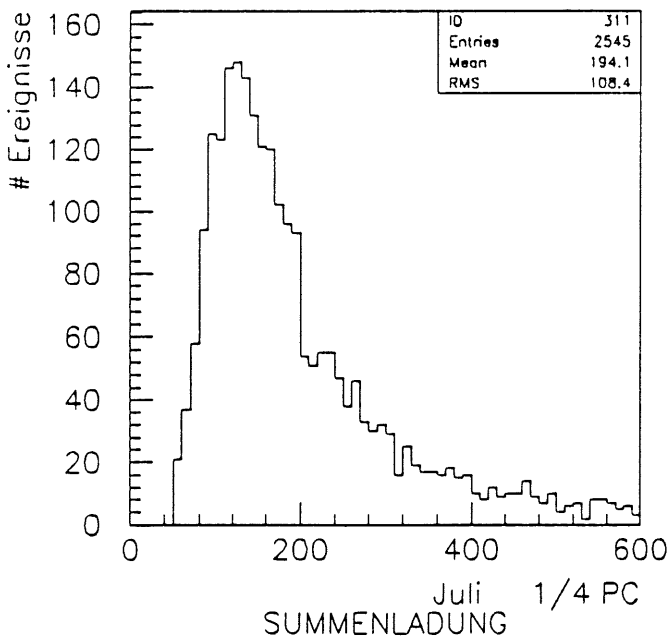
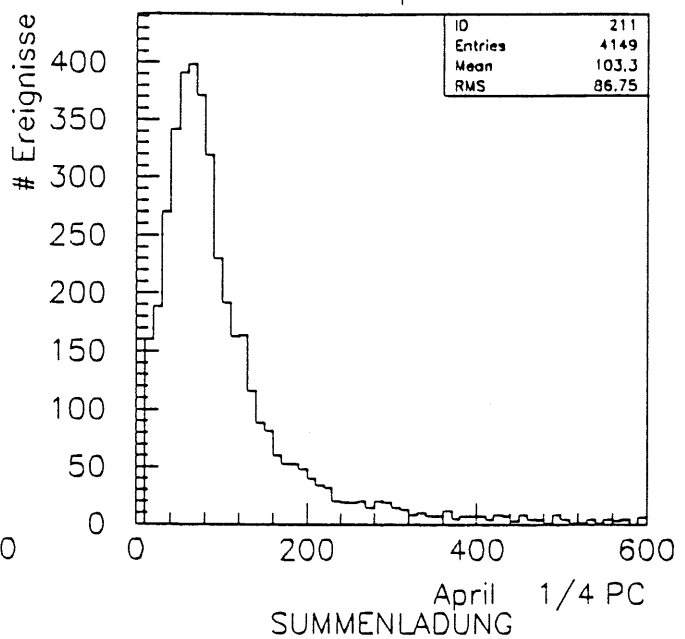
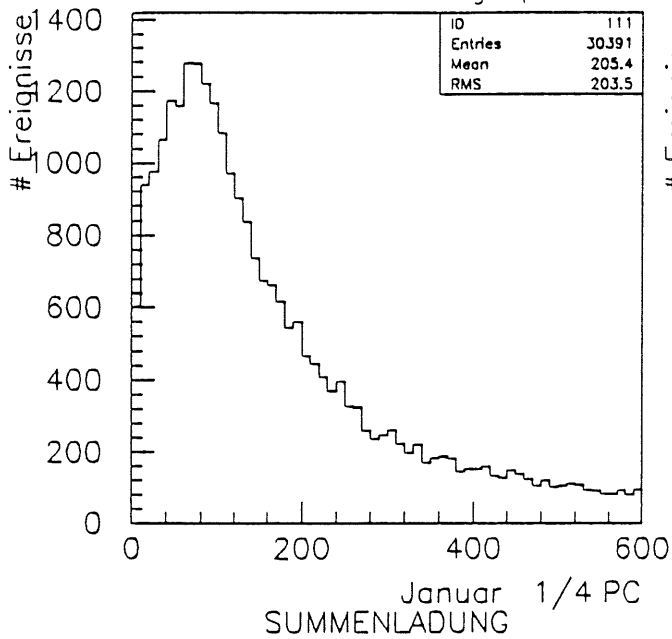


Abbildung 32: Die Abbildung zeigt drei Ladungsspektren der gleichen Kammer bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen. Die unterschiedlichen Spektren kommen durch die verschiedenen Gasversorgungen zustande. Im ersten Bild ist über die Meßdaten von zwei Wochen summiert worden, weil es in diesem Meßabschnitt zu unterschiedliche Gasgemische gab, um eine detaillierte Aussage über punktuelle Mittelwerte machen zu können. Im zweiten Bild sieht man ein Ladungsspektrum über drei Tage aufsummiert. Auffällig ist der viel kleinere Mittelwert, der auf eine Gasmischung mit geringerem Argonanteil schließen läßt. Im dritten Bild ist ein Ladungsspektrum mit der endgültigen Meßapparatur aufgenommen worden. Der Mittelwert entspricht ungefähr dem der ersten Messungen.

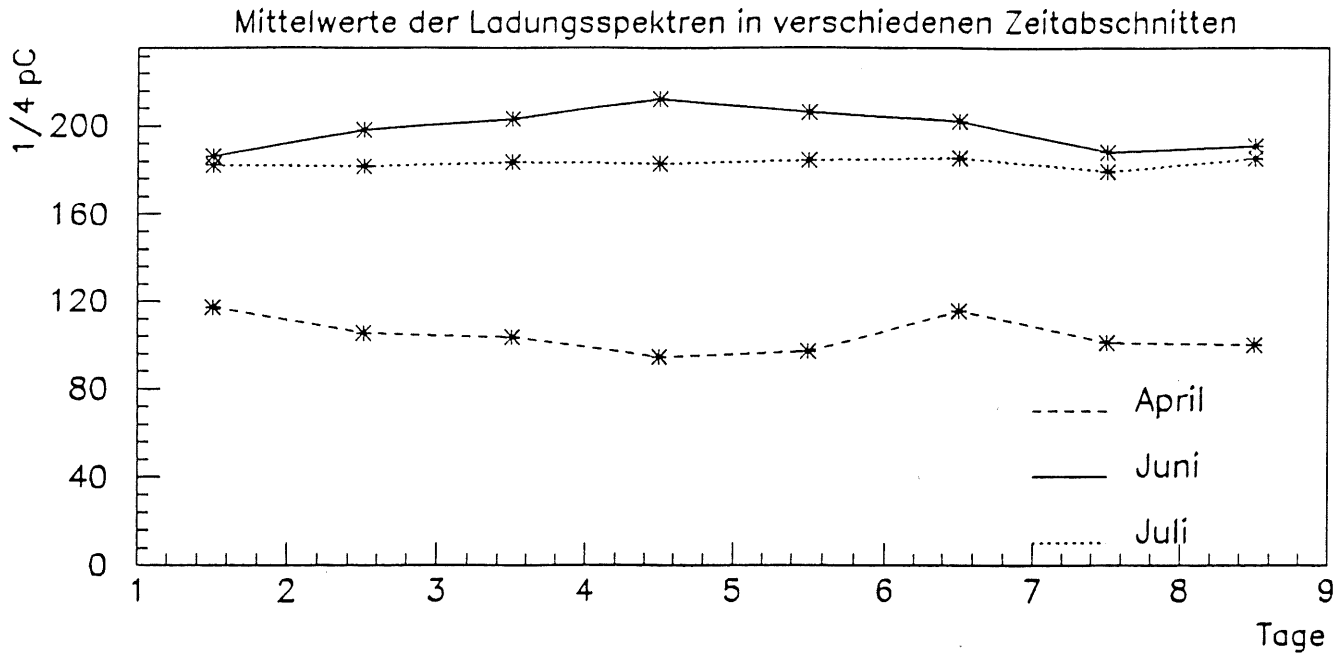


Abbildung 33: Mittelwerte der Ladungsspektren über drei verschiedene Zeitperioden. Die durchgezogene Linie gilt für die ersten 8 Tage im Juni, die gestrichelte die erste Aprilwoche und die gepunktete für die erste Juliwoche. Die Ladungsmittelwerte für Januar, Februar und März haben wegen starker Gasschwankungen keine Aussagekraft in Hinblick auf die Betriebsstabilität der Kammern.

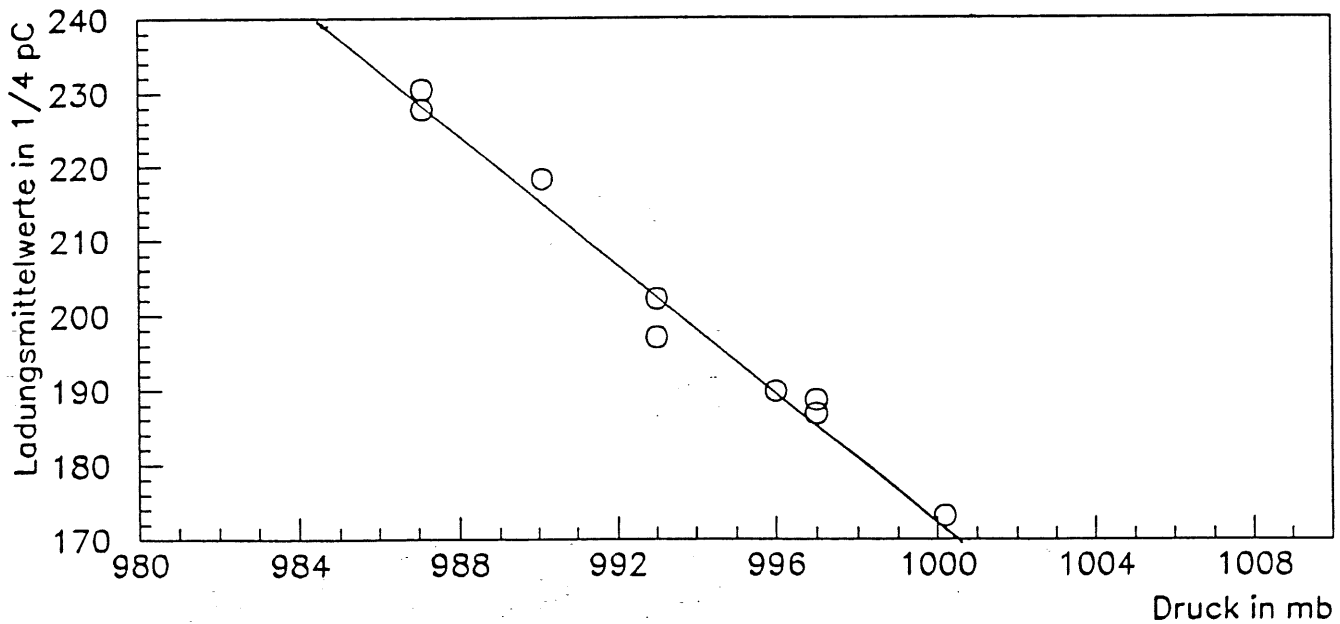


Abbildung 34: Die Abbildung zeigt die Abhängigkeit der Ladungsmittelwerte der Kammer vom Luftdruck.

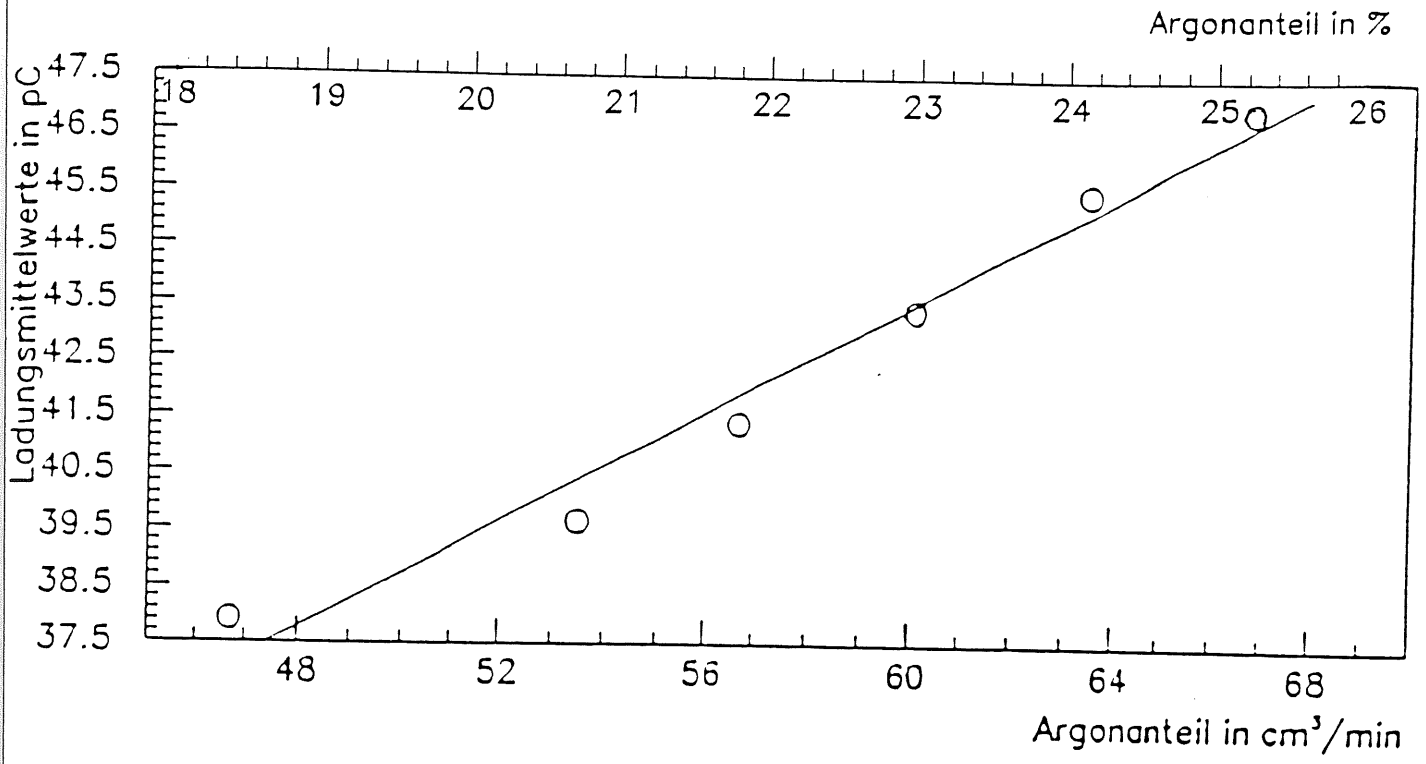


Abbildung 35: Die Abhängigkeit der Ladungsmittelwerte vom Argonanteil in der Gasmischung.

der Hochspannungsquelle nachgeliefert werden muß, um die Potentialdifferenz zwischen Anode(Draht) und Kathode(Profil) konstant zu halten. Unter der Voraussetzung, daß es sich um einen 'guten' Detektor handelt (keine Dunkelströme) ergibt sich die mittlere Lawinenladung, indem man den Kammerstrom durch die Teilchenrate dividiert.

$$\langle Q_{\text{Streamerlawine}} \rangle = I_K / N$$

$\langle Q \rangle$: mittlere Ladung

$\langle I_K \rangle$: Mittlerer Anodenstrom

N : Teilchenrate ($\sim 25 \text{ s}^{-1}$ pro Meter Profil, siehe Abbildung 17)

Die so errechnete mittlere Lawinenladung stimmt nicht mit dem gemessenen Ladungspuls überein, sondern ist typischerweise um einen Faktor 3 größer als der Ladungspuls [18].

Abbildung 36 zeigt die Schwankungen zwischen mehreren Tagen für sechs verschiedene Profile. Im Mittel über alle Kammern und die verschiedenen Tage ergibt sich ein Faktor von 3.15 ± 0.8 zwischen dem Ladungspuls multipliziert mit der Teilchenrate und dem gemessenen Kammerstrom.

Um diesen Sachverhalt etwas zu beleuchten, soll zuerst ein einzelnes Elektron-Ion-Paar betrachtet werden. Im Moment seiner Entstehung ist die Influenzwirkung des Elektrons und des Ions auf den Draht entgegengesetzt gleich. Kurze Zeit später hat sich das Paar getrennt, und die Influenzladung des Elektrons auf dem Draht ist wegen des geringeren Abstandes nun größer als die des Ions, so daß eine negative Ladung vom Draht abfließt. Wenn das Elektron den Draht erreicht hat ist insgesamt die Ladung:

$$Q_{\text{gesamt}} = Q_e + Q_{\text{Infl.Ion}}$$

abgeflossen, wobei Q_e die Ladung des Elektrons ist und $Q_{\text{Infl.Ion}}$ die vom Ion auf den Draht influenzierte Ladung. Die Gesamtladung im kurzzeitigen Ladungspuls erhält man durch Summation dieser Ströme von allen gebildeten Elektron-Ion-Paaren in der Lawine.

Auf jeden Fall ist die schnell abfließende Ladung geringer als die gesamte Lawinenladung. Das Verhältnis der Lawinenladung und des Ladungspulses ist abhängig von der räumlichen Verteilung der Elektron-Ion-Paare in der Lawine und von der Driftgeschwindigkeit der Elektronen und Ionen im benutzten Gas. Der qualitative Faktor 3 läßt sich dadurch nicht erklären.

6.1.4 Nachweiswahrscheinlichkeit

Die Nachweiswahrscheinlichkeiten wurden für alle getesteten Kammern über alle drei Meßperioden hinweg kontrolliert. Dabei stellte sich heraus, daß die Schwankungen der Nachweiswahrscheinlichkeit im dritten Meßabschnitt von einzelnen Kammern minimal sind (siehe Abb. 37). Im ersten Meßabschnitt gab es erhebliche Probleme, die auf starke Gasschwankungen zurückzuführen sind, nach einigen Verbesserungen beim alten Gassystem gab es nur geringe Gasschwankungen, aber die Nachweiswahrscheinlichkeiten für mehrere Kammern zeigten starke Fluktuationen. Im vorherigen Abschnitt wurden die Mittelwerte der Ladungsspektren einer Kammer gezeigt. In der Meßperiode im April liegen die Mittelwerte eindeutig tiefer als im Januar und im Juni, was ein weiteres Indiz für eine Gasmischung mit zu geringem Argonanteil ist.

Die mittlere Nachweiswahrscheinlichkeit der einzelnen Kammern unterscheidet sich. (siehe

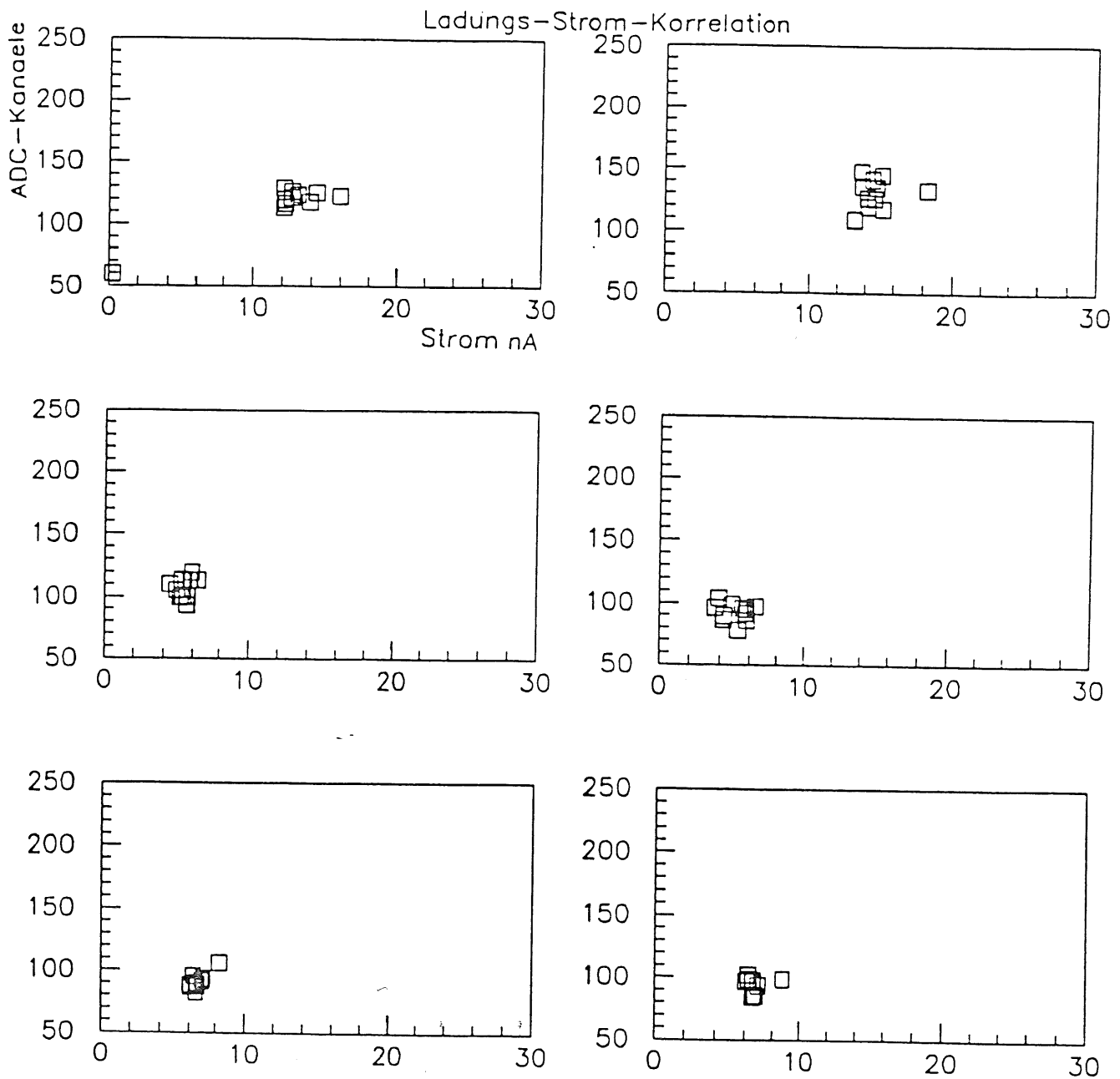


Abbildung 36: Abhängigkeit der Ladungsmittelwerte von den Strommittelwerten für mehrere Tage und verschiedene Profile. Man sieht eine deutliche Abhängigkeit zwischen Strom und Ladung. Kleine Ladungen führen auch zu kleinen Strömen, was daraufhindeutet, daß auch die gemessenen Ströme in erster Linie durch Teilchendurchgänge verursacht werden.

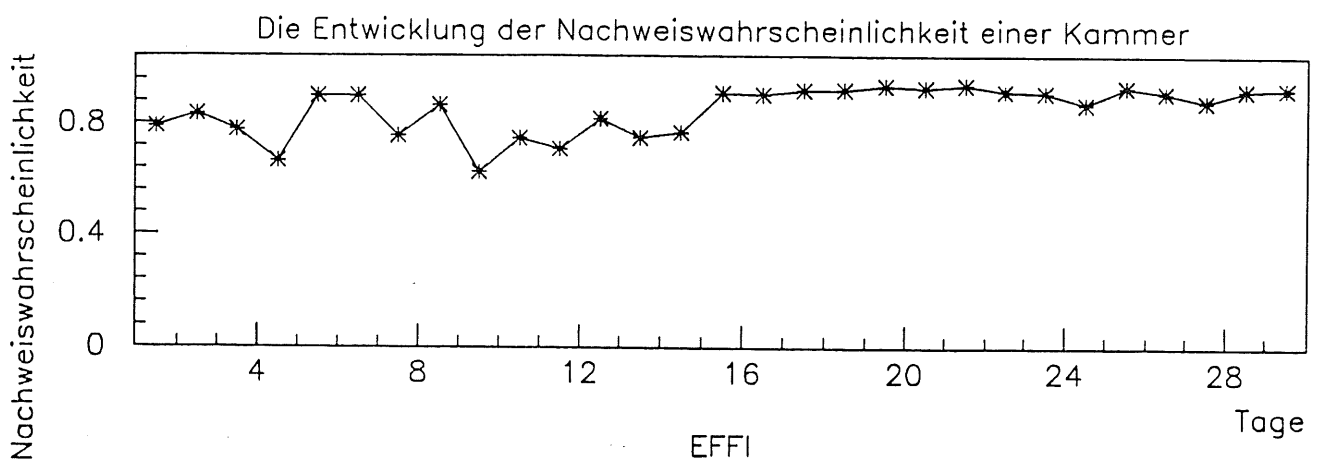


Abbildung 37: Nachweiswahrscheinlichkeiten für eine Kammer über eine Periode von einem Monat. In der Mitte der dargestellten Zeitskala erkennt man deutlich, wo das neue Gassystem eingesetzt wird.

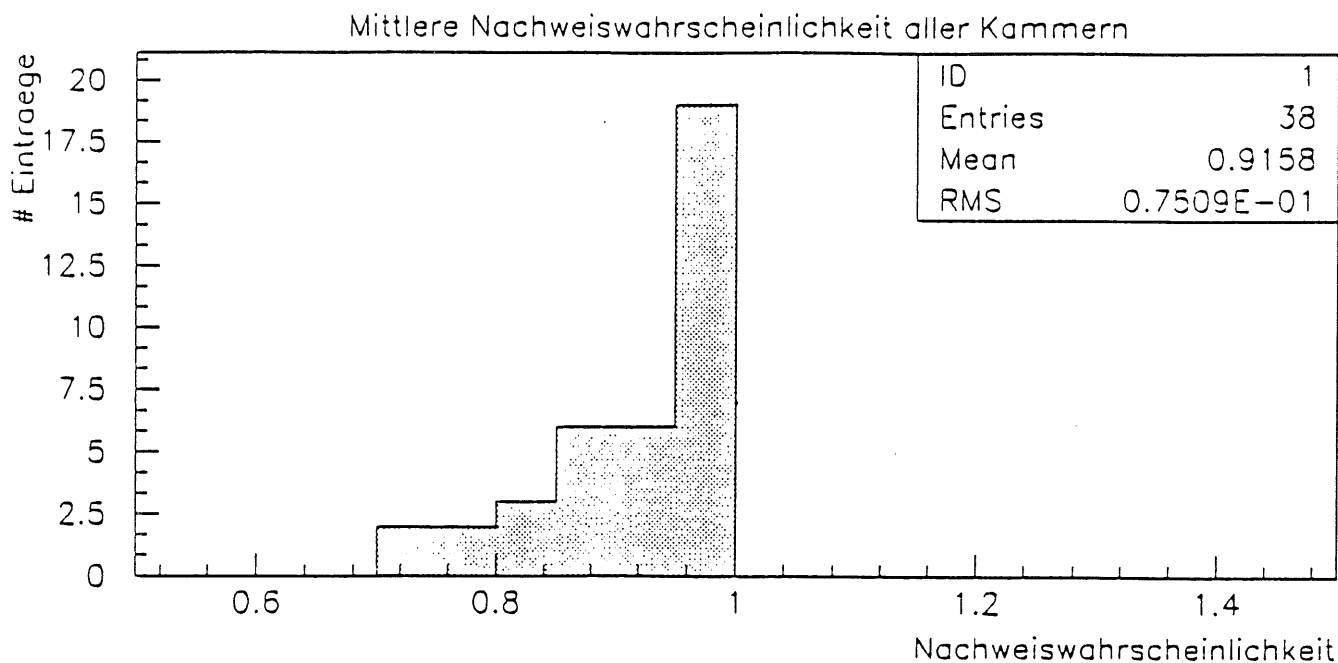


Abbildung 38: Mittlere Nachweiswahrscheinlichkeit für die Gesamtzahl der Kammern

Abb. 38). Die Nachweiswahrscheinlichkeit über alle Testkammern gemittelt beträgt 91%. Die meisten Kammern haben eine Nachweiswahrscheinlichkeit von über 95%. In Abbildung 39 ist die Entwicklung der Nachweiswahrscheinlichkeit aller Kammern über einen Monat aufgetragen. In der Mitte der dargestellten Zeitskala wurde das neue Gassystem installiert, wie deutlich zu erkennen ist. Die unterschiedlichen Nachweiswahrscheinlichkeiten der Kammern an einem bestimmten Tag, können auf kurzfristige Gasschwankungen zurückgeführt werden. Damit ist gemeint, daß im Gaskreislauf eine Reihe Kammern schon eine andere Gasmischung hat als die restlichen Kammern. Eine Bestätigung dieser kurzfristigen Änderungen in der Gasmischung erhält man in einem Stromverlauf einer Kammer. (Siehe Abbildung 40.)

Abbildung 41 zeigt die Abhängigkeit der Nachweiswahrscheinlichkeit vom Anteil des Argons an der Gasmischung. Es ergibt sich eine Plateaukurve. Das Plateau beginnt bei einem Argonfluß von $60 \text{ cm}^3/\text{min}$, was einem Argonanteil von 22.5 % am Gasgemisch entspricht. Um bei der Nachweiswahrscheinlichkeit unabhängig von Druck und Temperatur zu werden, sollte man um 3-4 % Argonanteil vom Plateaubeginn weggerückt den Arbeitspunkt wählen (siehe auch Kapitel 5 Hochspannungs-Zählratenkurve).

6.2 Besonderheiten

Während der gesamten Testphase verhielten sich fast alle Kammern wie erwartet, wenn man die äußeren Störungen, die durch Gasschwankungen hervorgerufen wurden außer acht läßt. Zwei Profile verhielten sich trotz konstantem Gasfluß sehr auffällig. Sowohl der Strom und auch die Ladungsspektren lagen um eine Faktor 5 bis 6 höher, als bei *normalen* Profilen. Irrtümer, wie zum Beispiel ein defekter Auslesekanal, eine falsche Hochspannung oder Gasmischung konnten ausgeschlossen werden.

Beide Kammern sind aus Deckeln und Profilen aus der gleichen Produktionsserie gebaut worden, allerdings sind drei weitere Kammern der gleichen Produktionsserie im Langzeittest,

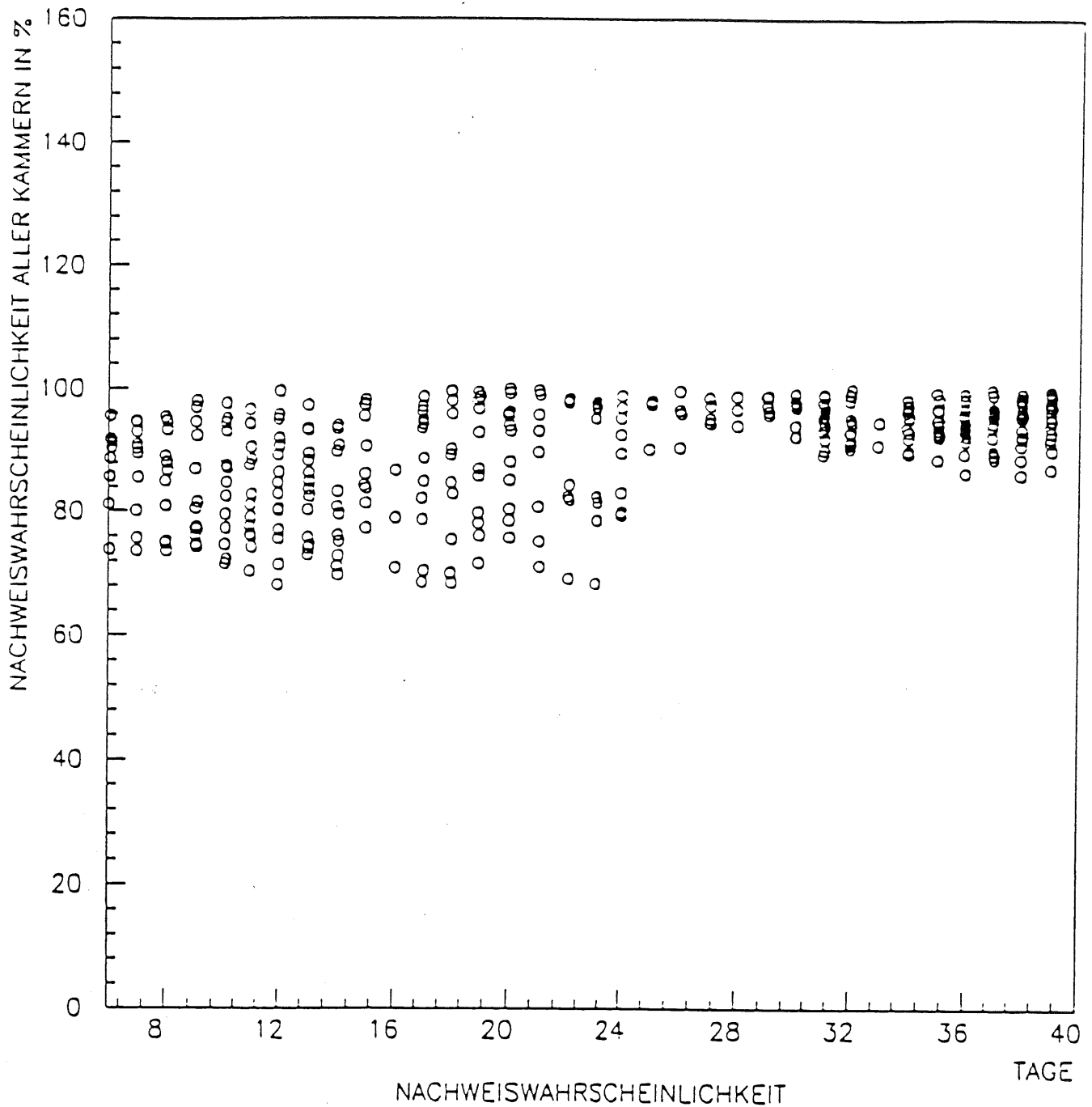


Abbildung 39: Die Abbildung zeigt die Nachweiswahrscheinlichkeiten aller Kammern für eine Zeitspanne von einem Monat. Man erkennt deutlich, wann das neue Gassystem einsetzt. Eine mögliche Erklärung für die starken Schwankungen in der Nachweiswahrscheinlichkeit beim alten Gassystem sind unterschiedliche Gasmischungen in den verschiedenen Kammern, die durch ihre Lage im Gaskreislauf bedingt ist.

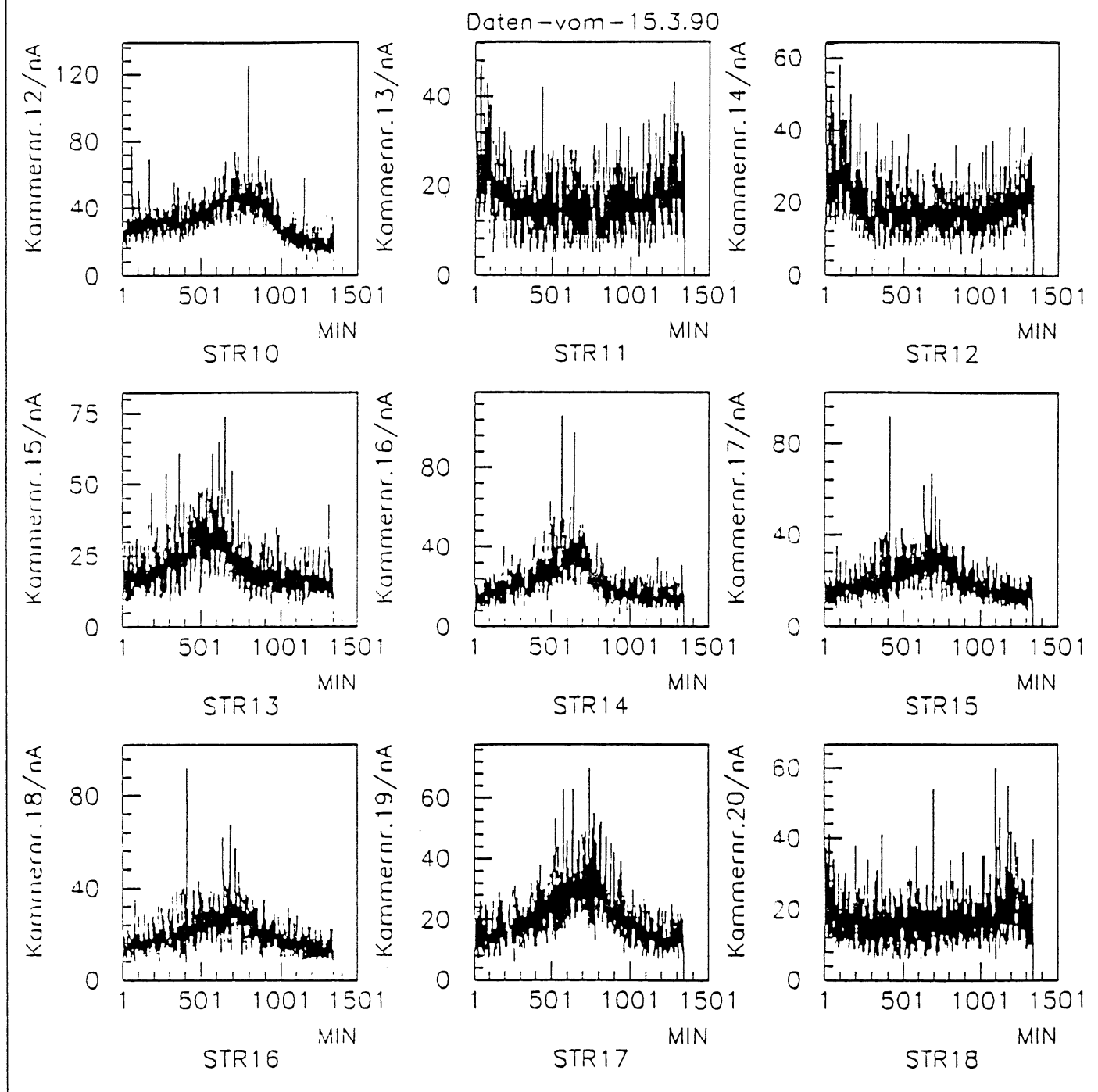


Abbildung 40: Die Abbildung zeigt die Gasmischungsschwankungen, die sich in den Schwankungen der Stromwerte widerspiegeln innerhalb einer Messung (1 Tag). Man erkennt, daß die verschiedenen Profile die Gasschwankung zu unterschiedlichen Zeiten wahrnehmen.

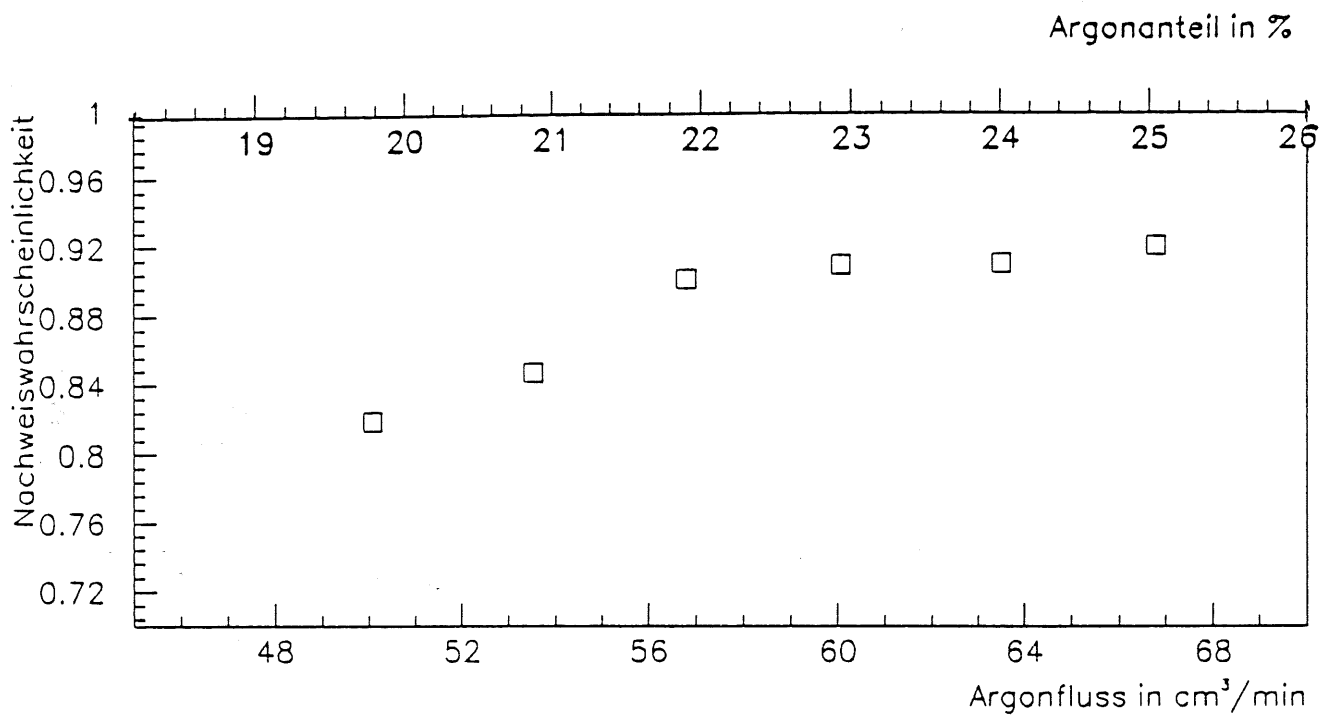


Abbildung 41: *Abhängigkeit der Nachweiswahrscheinlichkeit vom Mischungsanteil Argon.*

die kein auffälliges Verhalten zeigen. Somit läßt die gleiche Herkunft keinen Schluß auf das ähnliche anormale Verhalten zu.

Abbildung 42 zeigt das Ladungspektrum und den Stromverlauf eines Profils mit übergroßen Strömen und Ladungspektren. In Abbildung 43 sind die Nachweiswahrscheinlichkeiten, die mittleren Ströme und die mittleren Ladungen über eine Zeit von drei Wochen aufgetragen. Bei guter Nachweiswahrscheinlichkeit zeigt die Kammer über den gesamten Beobachtungszeitraum anormal hohe Ladungen und Ströme. Zum Vergleich sind jeweils in die Abbildungen eine Kurve einer durchschnittlichen Kammer mit eingezeichnet.

Bei der betroffenen Kammer wurde an vier ausgewählten Orten über die gesamte Länge der Kammer verteilt, je ein Ladungspektrum aufgenommen. An allen vier Stellen zeigten sich die gleichen überhöhten Ladungsmittelwerte (122.5 ± 3.7 pC). Das machte durchhängende Drähte oder lokale Graphitbeschädigungen als Ursache sehr unwahrscheinlich. Die nachfolgende Öffnung der Kammer ließ auch keine Beschädigungen am Graphit oder an den Drähten mit bloßem Auge erkennen.

Die Zählratenkurven beider Profile wiesen kein ausgeprägtes Plateau auf. Abbildung 44 zeigt die Zählratenkurve eines *normalen* Profils und rechts daneben im Vergleich die des *anormalen* Profils. Diese Phänomene ließ, trotz aller Indizien die dagegensprechen, wie ein zentraler Gaskreislauf, der alle Kammern mit dem gleichen Gas versorgt, auf ein erneutes *Gasproblem* schließen.

Es könnte sich um eine Gasunterversorgung des betroffenen Profils handeln. Obwohl zwei Profile in einer gemeinsamen *Box* durch den selben Gaseinlaß versorgt werden, könnte ein Profil einen Gasverschluß haben, und nur wenig Gas in den aktiven Bereich des Profils lassen, aber trotzdem das einströmende Gas zum nächsten Nachbarn durchlassen.

Diese vage Vermutung erhärtete sich, als nachdem der Gasfluß verdoppelt wurde, die 'kranken' Profile gesundeten, d.h. die Ströme und Ladungen sanken auf einen mittleren Wert von ca. 9 nA pro Meter, und die Zählratenkurven wiesen ein Plateau von ca. 300 Volt auf.

Um der Annahme nachzugehen, daß es sich um einen Gaseffekt handelt, wurde eine gut funktionierende Kammer vom Gaskreislauf abgehängt und verschlossen. Im abgedichteten Zustand wurde sie weiter bei einer Hochspannung von 4600 Volt betrieben. Nach drei Tagen zeigte ein Profil hohe Ströme (60 - 80 nA) und auch das Plateau der HV-Zählratenkurve verschwand. Damit ist sichergestellt, daß die Streamerrohrkammern bei einer schlechten Gasversorgung nicht mehr funktionieren und ähnliche Mängel zeigen wie die beiden Profile, die bei 'normaler' Gasversorgung Probleme haben.

Ein erneutes Öffnen der Problemkammer konnte diese These nicht eindeutig bestätigen, es war kein Gaskurzschluß zu beobachten.

Trotzdem erhärtete sich die Vermutung, daß es sich beim Fehlverhalten der Kammer, um eine Unterversorgung mit Gas handelt. Bei einer massiven Gasmischungsänderung konnte man erst nach einem halben Tag minimale Veränderungen im Strom, den Ladungen und den Zählratenkurven erkennen. Im Gegensatz dazu, erhält man bei einer durchschnittlichen Kammer bei 260 cm³/min Durchfluß schon nach einer Stunde die Ströme, die Ladungen und Zählratenkurven den vollständig geänderten Verhältnissen angepaßt.

Letztlich gibt es keinen Beweis für die These, daß zwei Profile mit zu wenig Gas versorgt werden, jedoch deuten die Indizien:

- A Erhöhter Durchfluß führt zu einem verbesserten Betriebsverhalten.

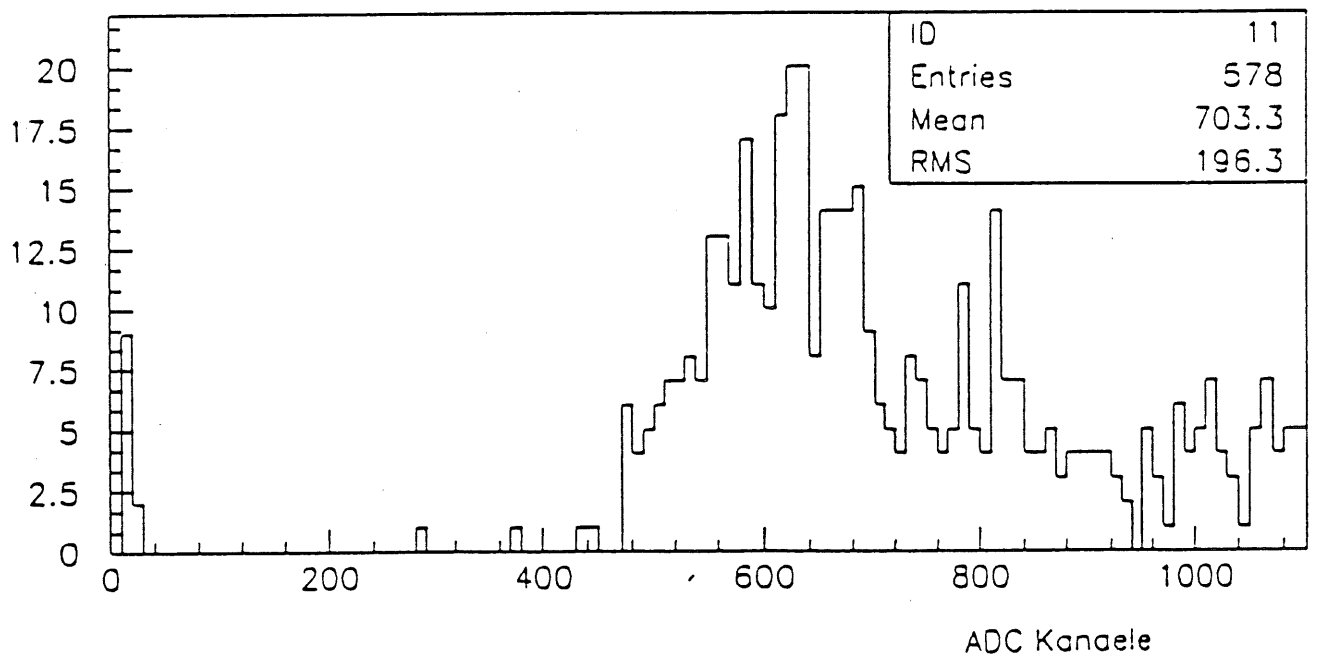
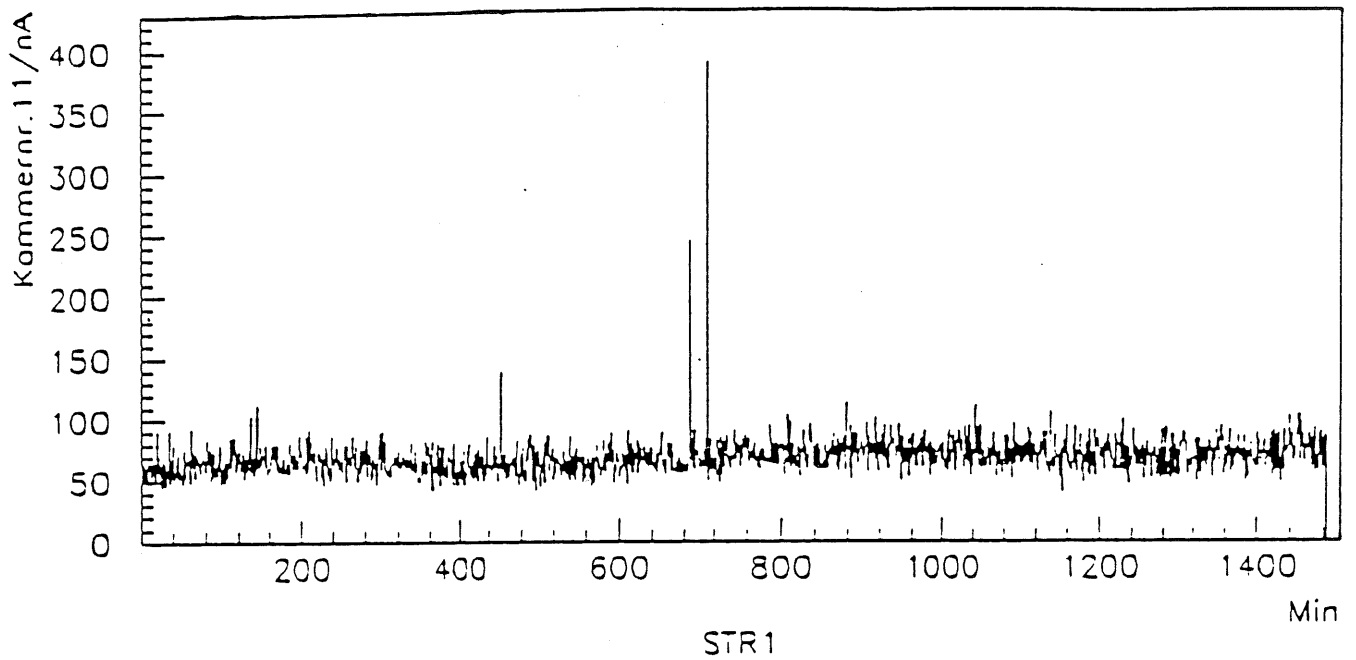


Abbildung 42: Hier sieht man das Ladungsspektrum und den Stromverlauf einer besonderen Kammer. Ladung und Strom sind überdurchschnittlich hoch.

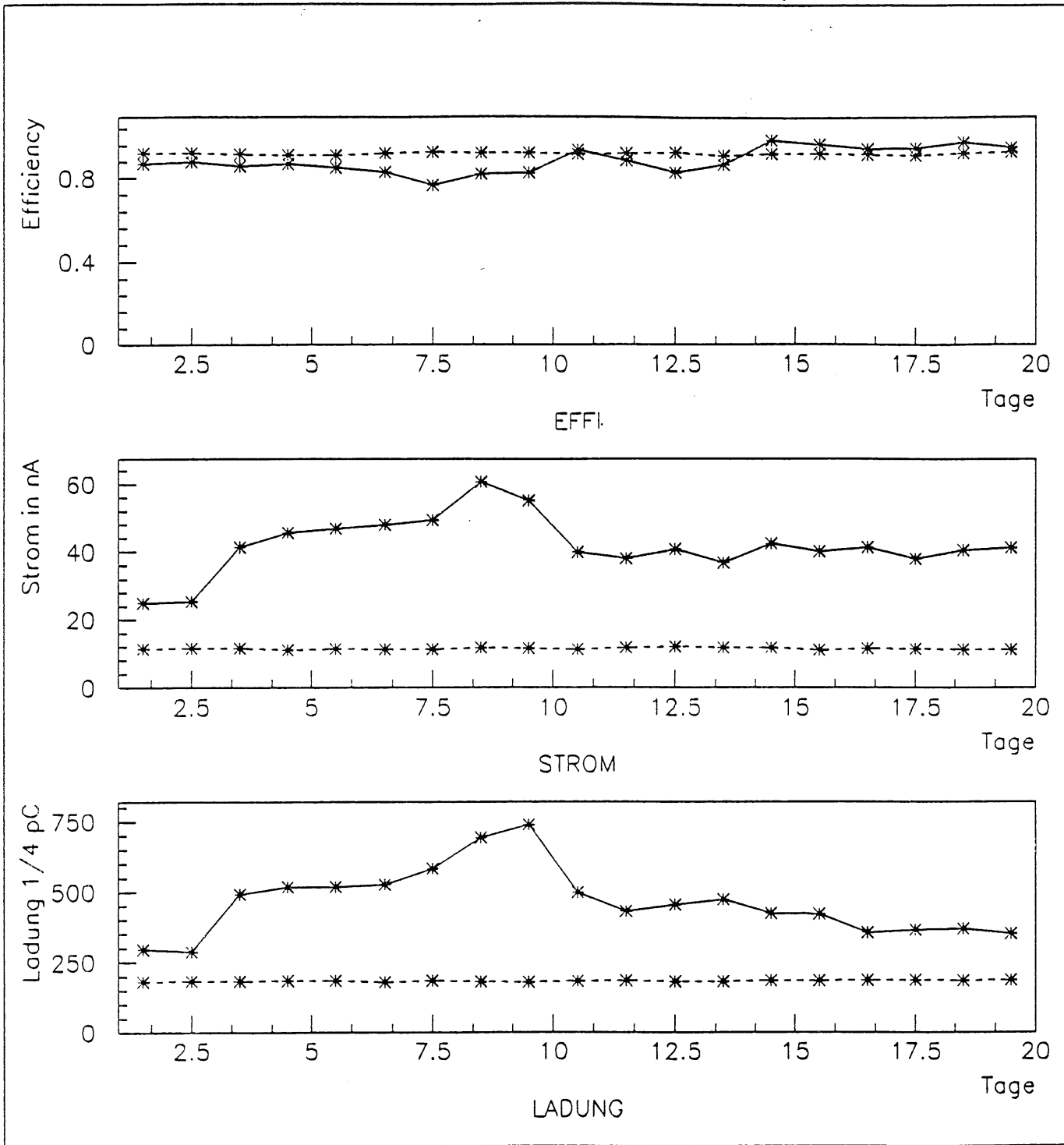


Abbildung 43: In der Abbildung sind die Nachweiswahrscheinlichkeiten, die mittleren Ladungen und mittleren Ströme über einen Zeitraum von drei Wochen dargestellt. Zum Vergleich ist jeweils der Verlauf einer 'normalen' Kammer mit aufgetragen. Die Kammer zeigt bei einer guten Nachweiswahrscheinlichkeit hohe Ladungen und zugehörig hohe Ströme. Dieses Verhalten ist sehr ungewöhnlich und bisher noch nicht beobachtet worden.

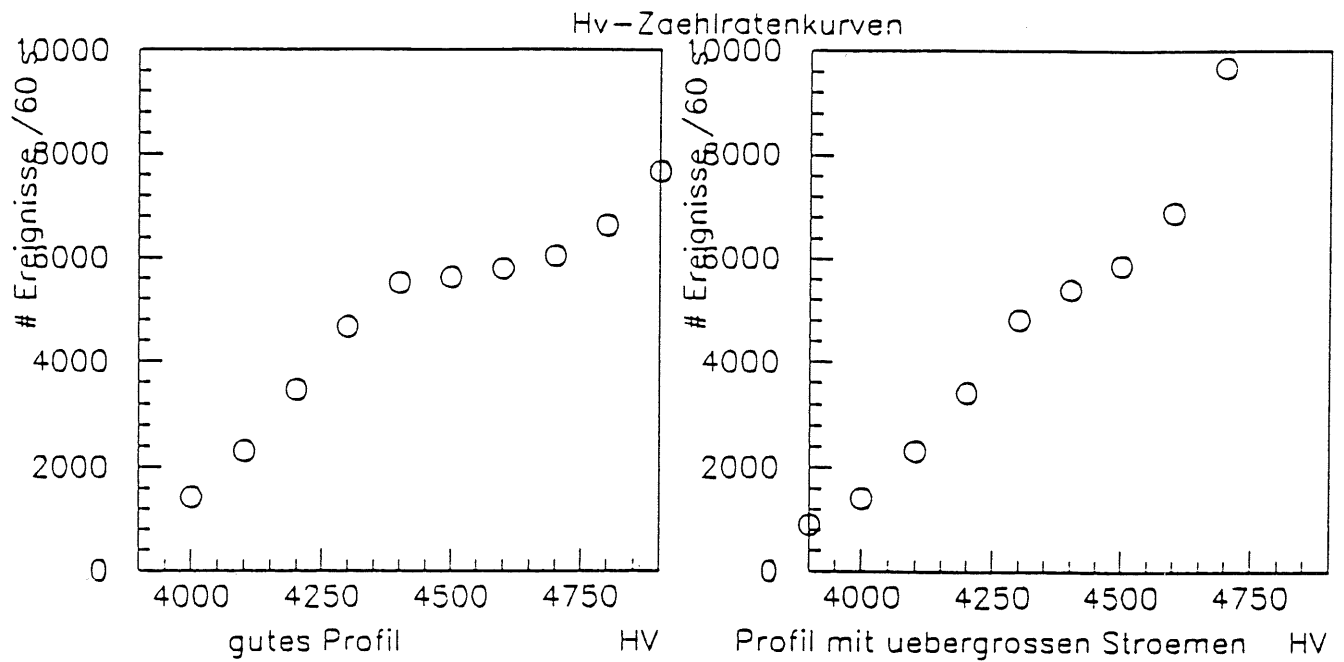


Abbildung 44: Links in der Abbildung kann man eine durchschnittliche Zählratenkurve mit einer schlechten (ohne Plateau) vergleichen. Es handelt sich bei dem normalen Profil um das unmittelbare Nachbarprofil.

- B Veränderter Durchfluß wird erst nach 20- 30facher Zeit als gewöhnlich registriert.
stark auf ein solches Fehlverhalten hin.

7 Zusammenfassung

Es wurde ein Langzeittest für H1-Streamerrohrkammern aufgebaut und getestet. Das vorhandene Ausleseprogramm wurde so erweitert, daß eine kontinuierliche Beobachtung und Aufzeichnung der Strom- und Gasflußwerte möglich ist. Die Datennahme wurde verbessert, indem eine Selektion der Ereignisse *vor* der Aufzeichnung stattfindet.

Die Messung der Betriebseigenschaften der Kammern erfolgte über einen Zeitraum von 7 Monaten mit drei verschiedenen Gassystemen. Es wurde in dieser Zeit eine erheblich verbesserte Stabilität der Gasmischung erreicht.

Die meisten Kammern (26 von 28 Kammern) haben den Langzeittest, ohne sich im *Stromverhalten*, im *Ladungsspektrum* und der *Nachweiswahrscheinlichkeit* zu ändern, überstanden. Eine Kammer (zwei Profile) waren schon direkt nach Eintritt in den Langzeittest defekt. Es konnte also bei $\sim 96\%$ der Kammern keine Änderung im Langzeitverhalten festgestellt werden. Zwei Profile zeigten nach ca. einer Woche Betrieb ungewöhnlich hohe Ströme und passend dazu stark erhöhte Ladungsmittelwerte. Diese Fehlverhalten ließ auf eine defekte Gasversorgung dieser speziellen Kammer schließen.

Die mittleren Ströme eines Profils können als *eindeutiges* Kriterium für die Qualität der Profile gedeutet werden. Es kann bei 10 nA pro Meter Profil eine eindeutige Stromobergrenze gezogen werden (siehe Abbildung 27). Die darüberliegenden Profile haben immer Betriebschwierigkeiten oder zumindest ungewöhnliche Betriebseigenschaften gezeigt.

Die Abhängigkeiten der mittleren Ladung und Strommittelwerten von den Betriebsparametern (Druck, Gasmisch) sind linear.

A Anhang

A.1 Das Datennahmeprogramm der Anodenströme

Das C-Programm *Seriell.c* kann in der vorhandenen Form benutzt werden, um alle Kanäle (256) des Strommeßgerätes auszulesen.

Die Stromwerte werden auf eine Datei mit Namen *strom.dat*, die Gaswerte auf eine Datei mit Namen *gas.dat* aufgezeichnet.

A.2 Die Kammern, die im Test waren

In Tabelle 8 werden alle Kammern, die im Langzeittest waren aufgeführt. Anfang Januar 1990 hat der Langzeittest mit 11 Kammern begonnen. Durchschnittlich ist er monatlich um 3 Kammern, die aus der jeweiligen Produktion kamen, erweitert worden.

A.3 Stromverläufe aller Profile an einem Tag

Die Abbildungen 48, 49, 50, 51, 52 und 53 zeigen das Strom-Zeit-Verhalten aller Profile für einen Tag mit dem neuen Gassystem. Im Mittel bleiben die Anodenströme der jeweiligen Kammern gleich. Große Unterschiede gibt es zwischen den Kammern, die einerseits auf die unterschiedliche Länge zurückzuführen sind und andererseits auf eventuelle Qualitätsunterschiede.

A.4 Ladungsspektren aller Profile

Die Abbildungen 54, 55 und 56 zeigen die Ladungsspektren der Kammern für einen Tag mit dem neuen Gassystem.

```

/* Das Programm spricht die serielle Schnittstelle an,
liest einen vollstaendigen Datenblock von 1041
Zeichen, decodiert die Strom-, bzw. Gaswerte
und zeichnet sie auf.*/

/* Das kurze Hauptprogramm zeigt, wie
das Ausleseprogramm zu benutzen ist.

main()
{
int serie();
int i;
for(i=1;i<4;i++)
serie();
}
*/

/* Das erste Unterprogramm kommuniziert mit der
RS232 Schnittstelle */

# include<osbind.h>
# include<bios.h>
# include<xbios.h>
# include<stdio.h>
int serie()
{
char buff[1041];
int decoder();
char r,u,n;
register long c,d;
int i;
char mo;
r='R';
u=13;
n='N';
for(i=1;i<1042;i++)
{buff[i]=48;}
/* An das Strommessgeraet Next,carriage return,Read,carriage
return */
Bconout(BC_AUX,(short)n);
Bconout(BC_AUX,(short)u);
Bconout(BC_AUX,(short)r);
Bconout(BC_AUX,(short)u);
sleep(1);
/* Ist das Strommessgeraet lesebereit ? */
c=Bconstat(BC_AUX);

```

Abbildung 45: *Datennahmeprogramm Strommessgerät*


```

/Falls ja, soll es den Block lesen. */
if(c== -1)
{
for(i=1;i<1042;i++)
{
c=Bconstat(BC_AUX);
if(c== -1)
{d=Bconin(BC_AUX);
printf("%d\n",c);
mo=d;
mo=mo&127;
buff[i]=mo;}
else
goto UNTEN;
}
}
else
{printf("Strommessgeraet noch nicht bereit\n");
printf("%d\n",c);}
decoder(buff);

UNTEN:
printf("Block nicht volllstaendig\n");
}

```

```

/* Das zweite Unterprogramm decodiert die Daten und zeichnet sie auf.*/
# include <stdio.h>
int decoder(buff)
char buff[1041];
{
int l1l,lh1,h1l,hhl,hu,hui;
char ll,lh,hl,hh;
int lbyte,hbyte,k,i,m;
int werte[256],pruefs;
FILE *fopen(),*fd,*fp;
/* Decodieren der Daten, jeder Stromwert besteht
aus 4 Bytes. */
for(k=1;k<=256;k++)
{
ll=buff[4*k];lh=buff[4*k-1];hl=buff[4*k-2];hh=buff[4*k-3];
/* Verwandlung von Character in Integer*/
if(ll<=57)
l1l=ll-48;
else
l1l=ll-55;
if(lh<=57)
lh1=lh-48;
else
lh1=lh-55;
if(hl<=57)
hl1=hl-48;
else
hl1=hl-55;
}
}

```

Abbildung 44: Datennahmeprogramm Strommessgerät

```

else
hl1=hl-55;
if(hh<=57)
hh1=hh-48;
else
hh1=hh-55;
/* Zusammensetzung der Stromwerte*/
lbyte=ll1+16*lh1;
hbyte=hl1+16*hh1;
werte[k]=lbyte+256*hbyte;
/* Kontrolle, ob die Daten richtig vom
Strommessgeraet empfangen wurden. */
pruefs=!(pruefs && lbyte);
pruefs=!(pruefs && hbyte);
}
if(buff[1037]<=57)
hu=buff[1037]-48;
else
hu=buff[1037]-55;
if(buff[1038]<=57)
hui=buff[1038]-48;
else
hui=buff[1038]-55;
pruefs=!(pruefs && (16*hu+hui));
if(pruefs==0)
{printf("alles ok\n");
/* Aufzeichnen der Daten*/
fd=fopen("strom.dat","a");
fp=fopen("gas.dat","a");
m=0;
for(i=1;i<65;i++)
{
m++;
if(m>15)
{fprintf(fd,"%4d,\n",werte[i]);
m=0;}
else
fprintf(fd,"%4d,\x",werte[i]);
}
fprintf(fp,"%4d,\x",werte[94]);
fprintf(fp,"%4d,\x",werte[93]);
fprintf(fp,"\n");
fclose(fd);
fclose(fp);
}
else
printf("Block fehlerhaft\n");
}

```

Abbildung 45: Datennahmeprogramm Strommessgerät

Produktionsnummer der Kammer	Kammerlänge m	Eintritt in den Langzeittest
396	2.5	8.12.89
395	2.5	8.12.89
432	4.6	8.12.89
382	1.98	8.12.89
238	2.56	8.12.89
566	3.2	8.12.89
24	1.98	8.12.89
263	2.56	8.12.89
452	3.2	8.12.89
441	3.2	8.12.89
724	4.75	8.12.89
690	4.6	13.2.90
910	4.6	13.2.90
1066	4.6	13.2.90
1268	4.6	13.2.90
1270	4.6	13.2.90
1359	4.6	6.3.90
1338	4.6	6.3.90
1358	4.6	6.3.90
1630	4.6	21.3.90
1627	4.6	21.3.90
1741	4.6	21.3.90
1910	4.6	5.5.90
1738	4.6	5.5.90
1922	4.6	5.5.90
1993	4.6	15.5.90
2100	1.0	29.5.90
2002	1.0	29.5.90

Tabelle 8: In der Tabelle werden alle Kammern, die im Langzeittest waren aufgeführt.

Daten-vom-19.6.90

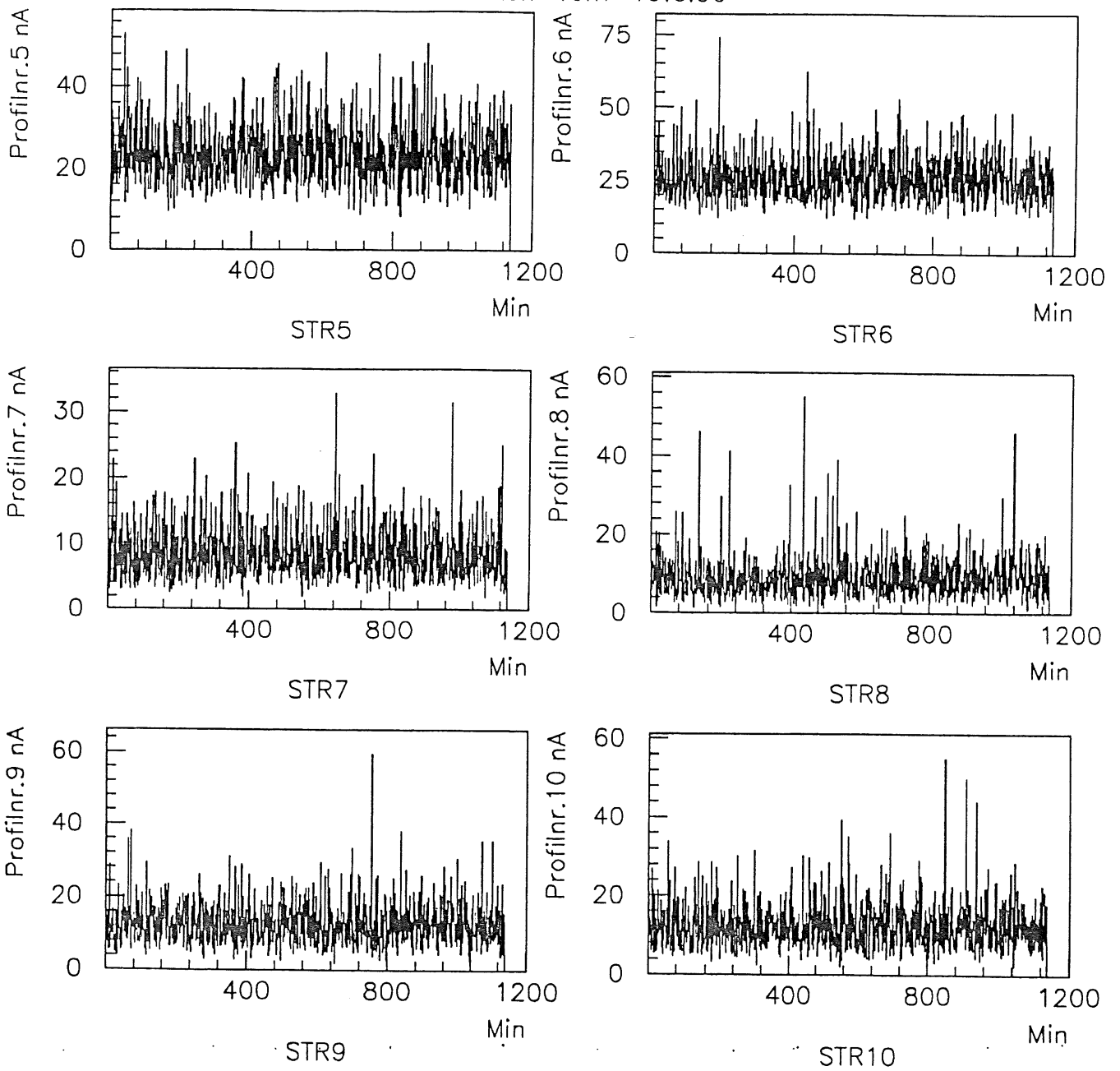


Abbildung 48: Strom-Zeit-Verhalten

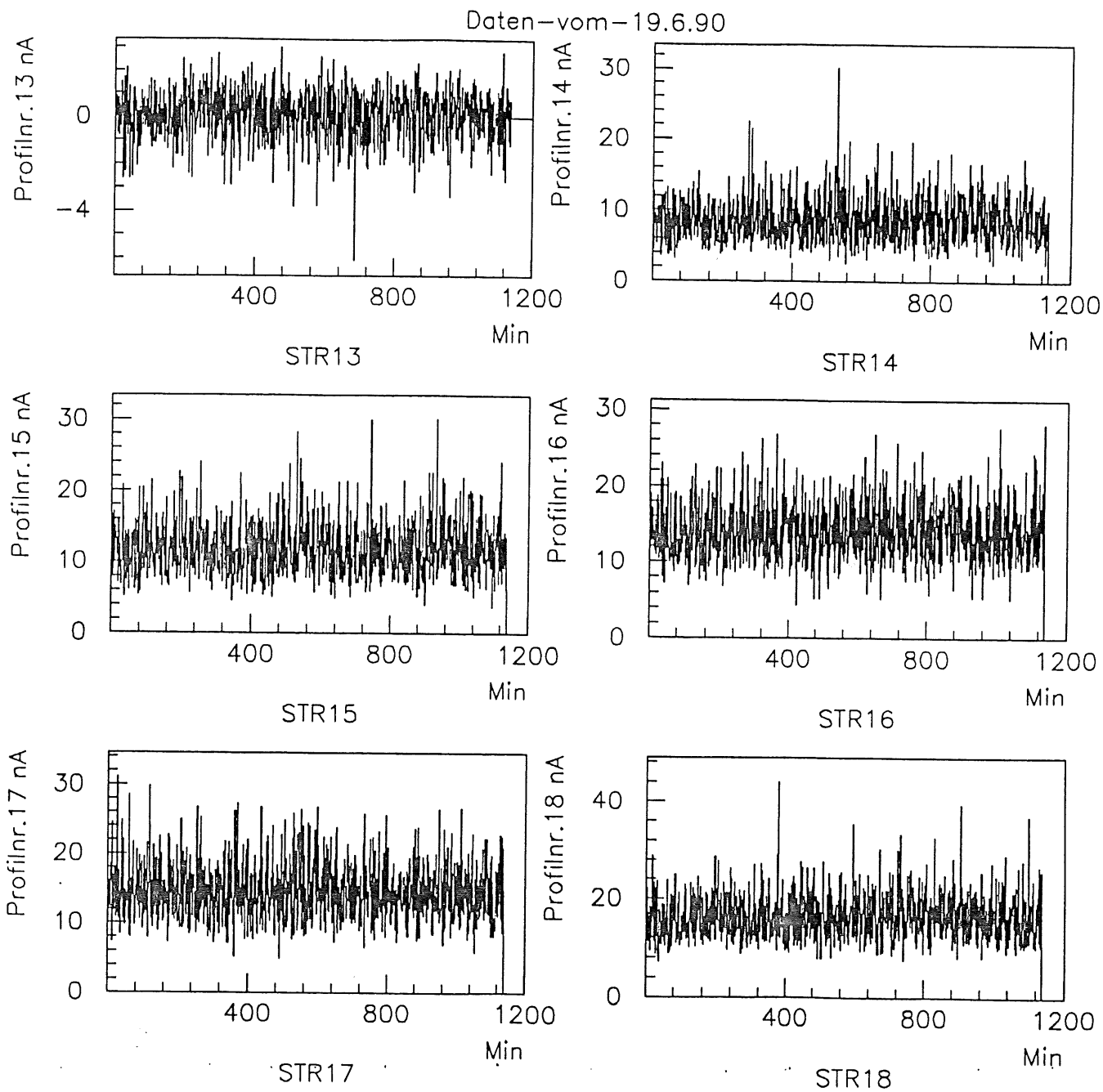
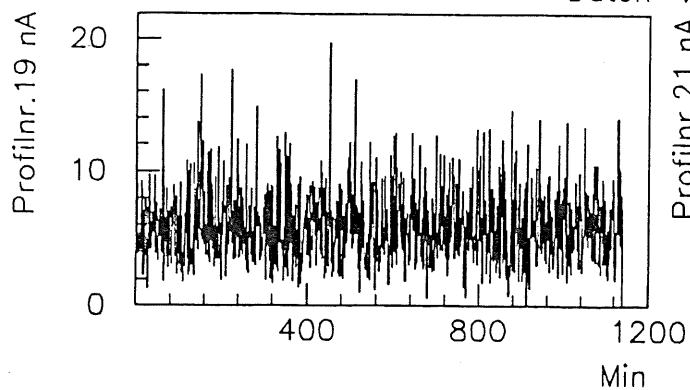
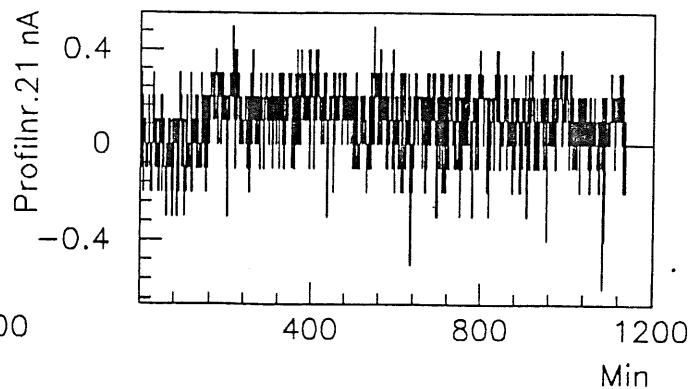


Abbildung 49: *Strom-Zeit-Verhalten*

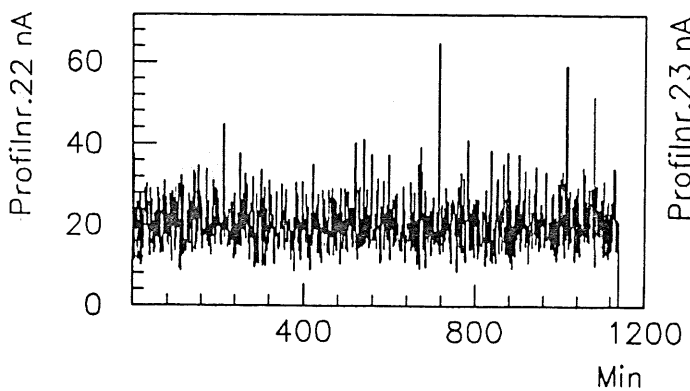
Daten-vom-19.6.90



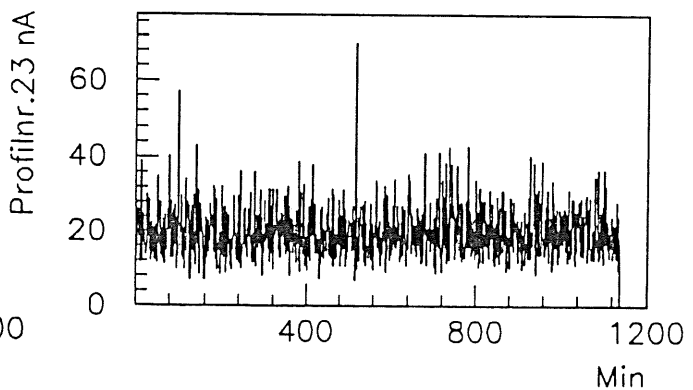
STR19



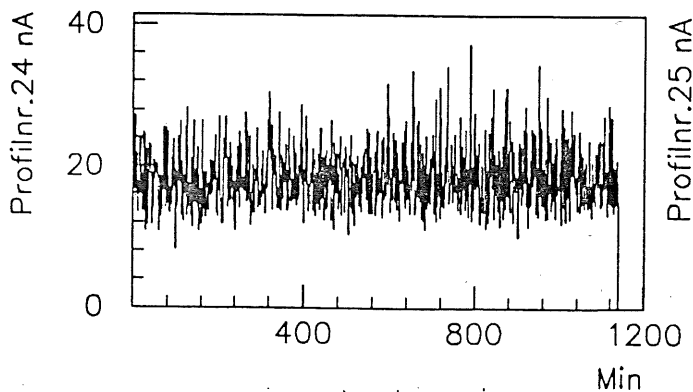
STR21



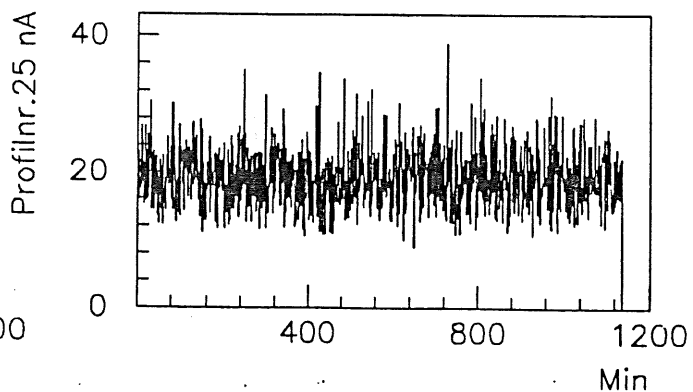
STR22



STR23



STR24



STR25

Abbildung 50: *Strom-Zeit-Verhalten*

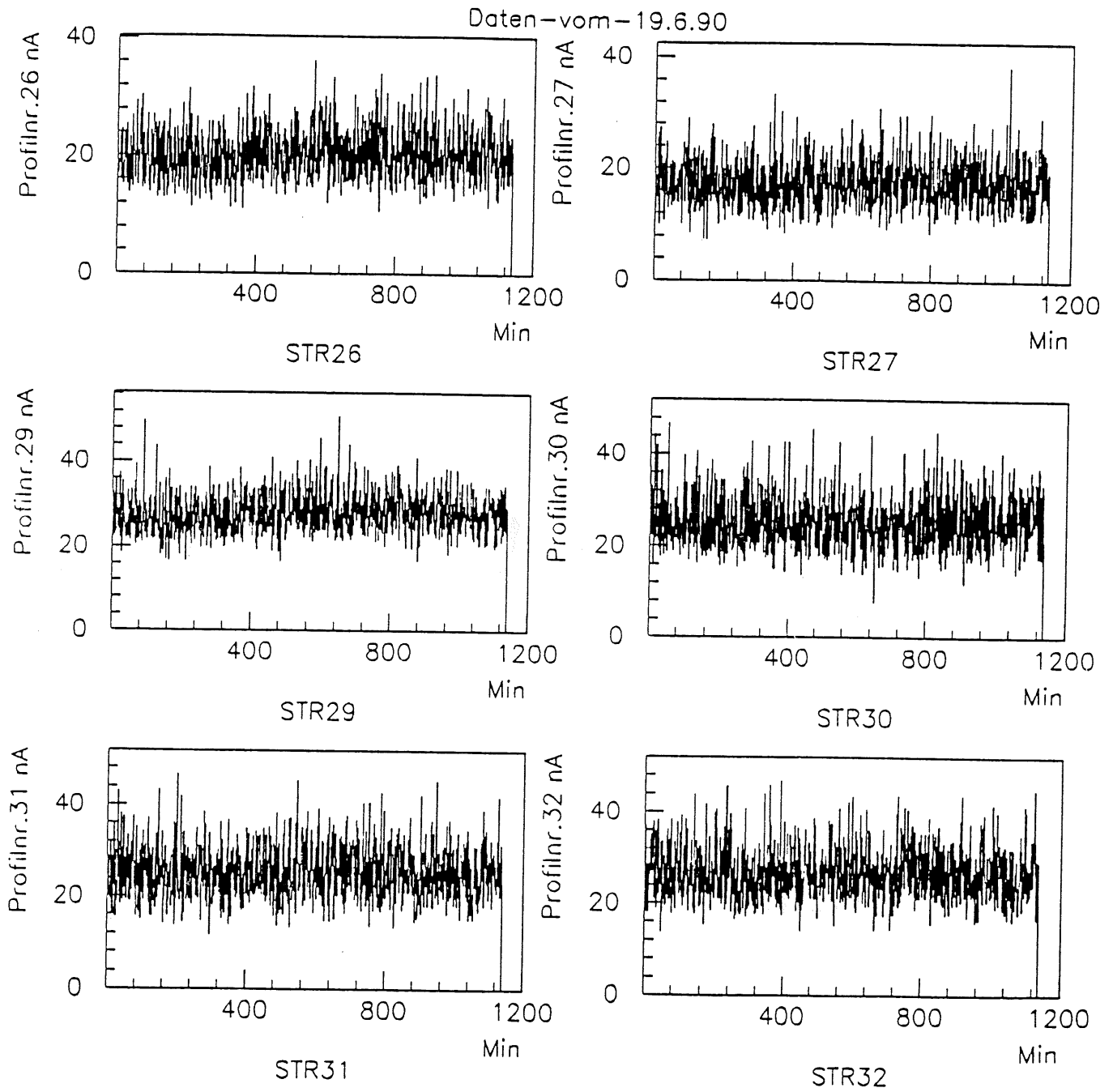


Abbildung 51: *Strom-Zeit-Verhalten*

Daten - vom - 19.6.90

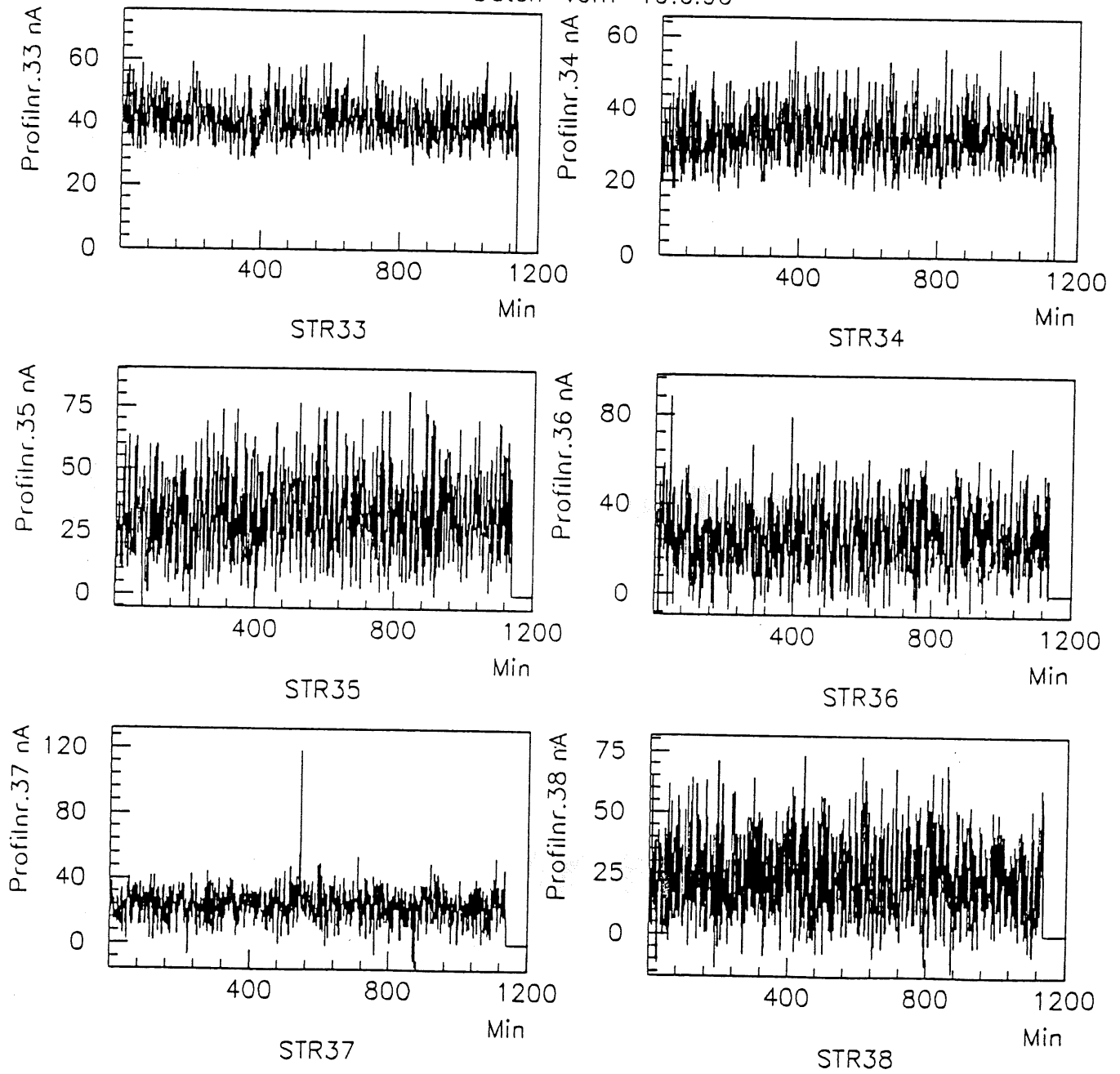


Abbildung 52: Strom-Zeit-Verhalten

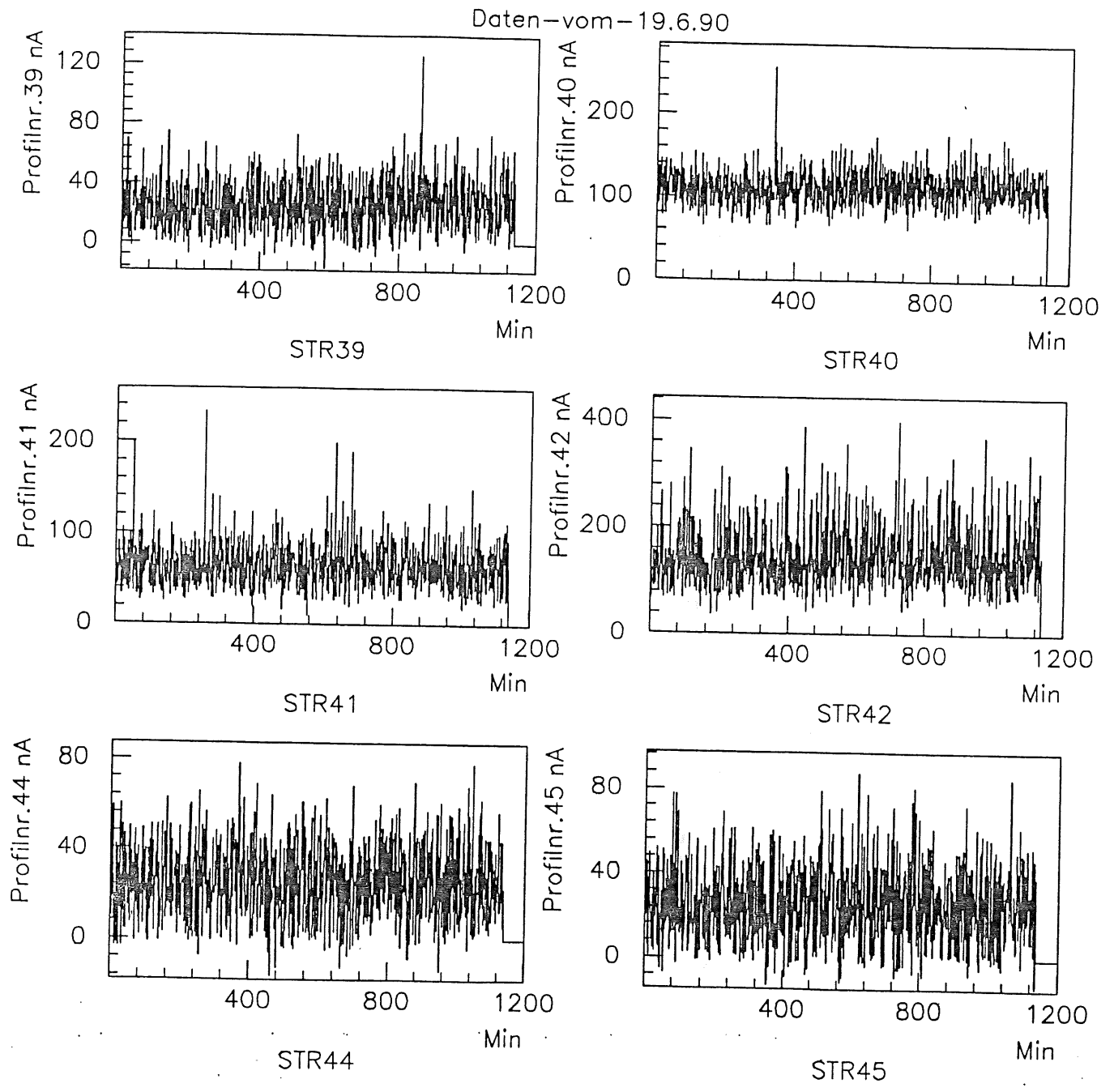


Abbildung 53: Strom-Zeit-Verhalten

Ladungsspektren aller Profile

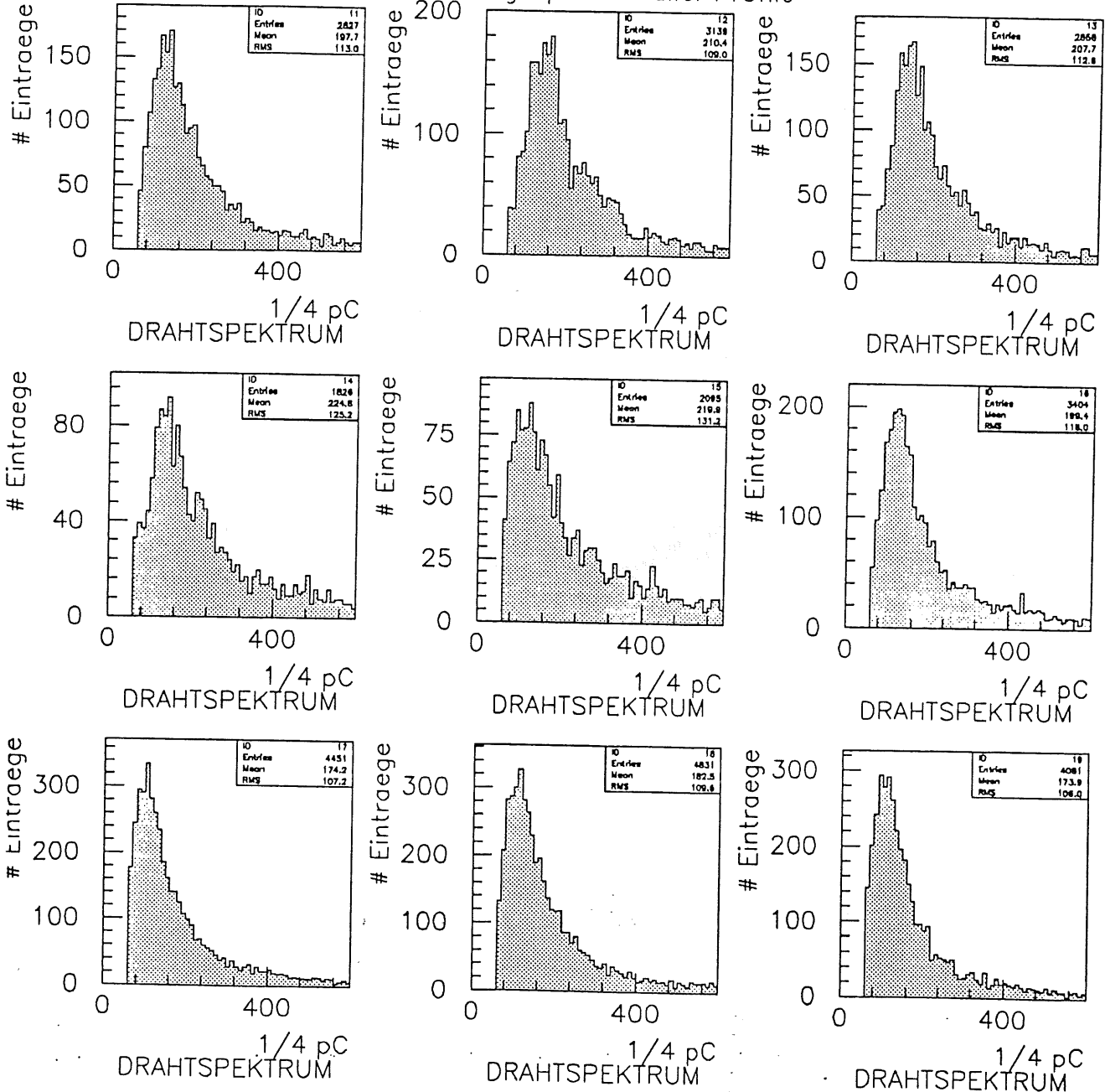


Abbildung 54: Ladungsspektren

Ladungsspektren aller Profile

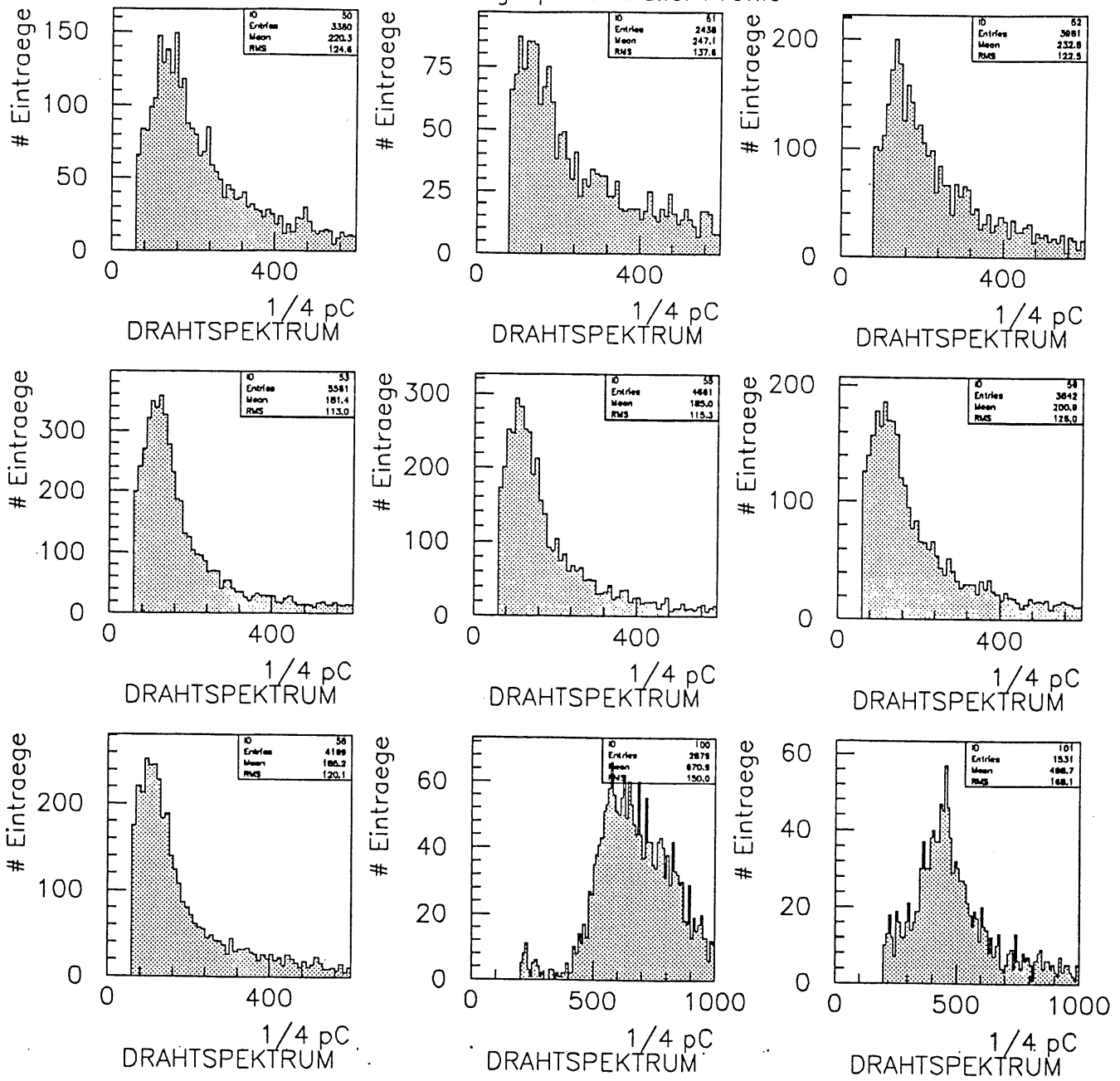


Abbildung 55: Ladungsspektren

Ladungsspektren aller Profile

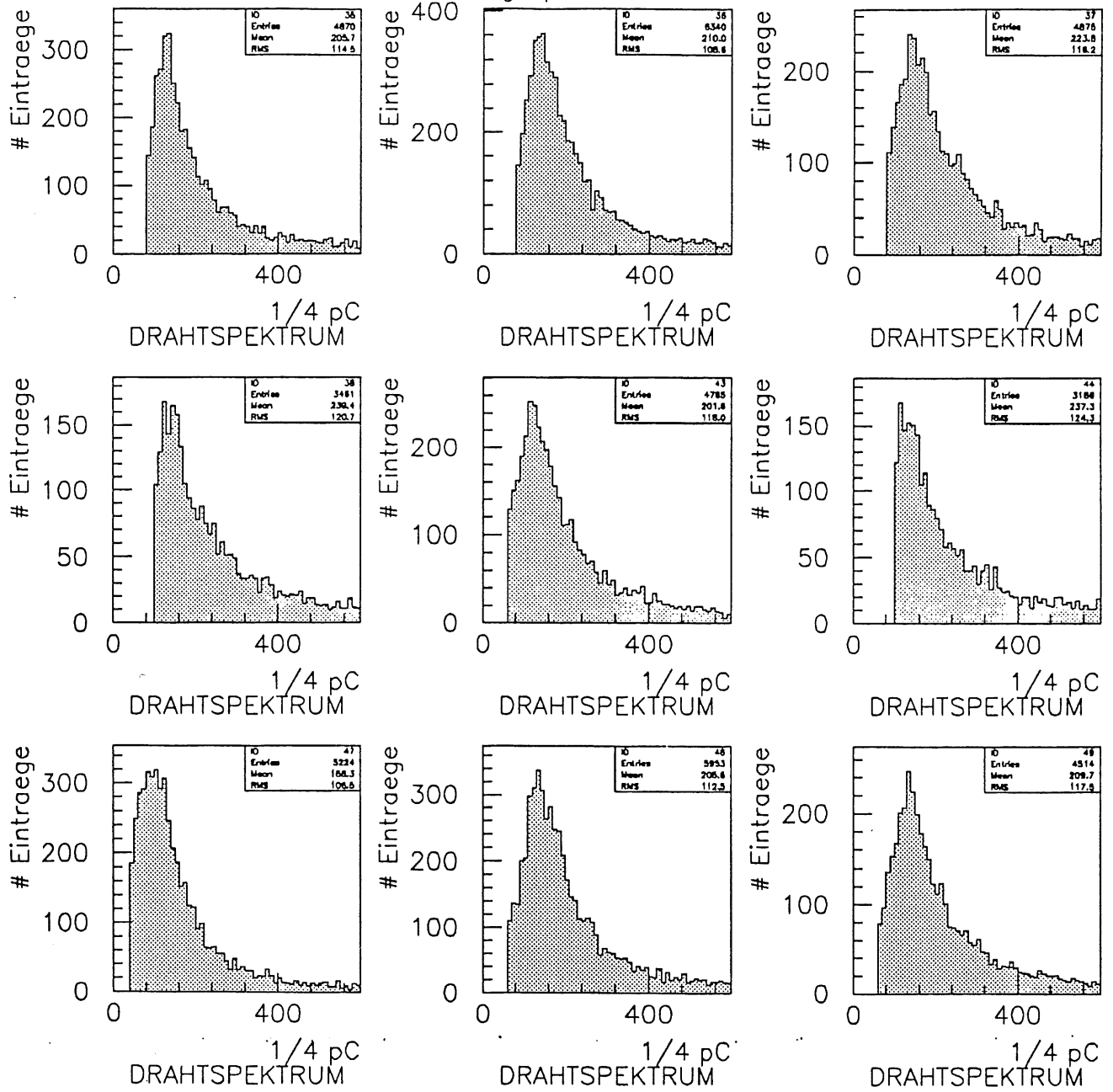


Abbildung 56: Ladungsspektren

Abbildungsverzeichnis

1	Skizze der Hadron-Elektron-Ringanlage	3
2	Der H1-Detektor	5
3	Anordnung der Streamerrohrkammern im H1-Detektor	10
4	Querschnitt durch ein H1-Streamerrohrkammerelement	11
5	Die verschiedenen Bereiche der Gasentladung einer Proportionalkammer	13
6	Zählratenkurve für eine H1-Streamerrohrkammer	14
7	Hochspannungsabhängigkeit der Ladungspulse	15
8	Gesamtaufbau des Teststandes	18
9	Schaltbild für die Verbindung Kammer, Strommeßgerät, ADC's	19
10	Funktionsweise eines Durchflußreglers	21
11	Massendurchflußmesser	21
12	Messung mit einer konstanten Stromquelle	23
13	Schaltplan für das Strommeßgerät	24
14	Flußdiagramm	26
15	Triggerschaltung	27
16	Anordnung zur Messung einer Zählratenkurve	28
17	Hochspannungs-Zählratenkurve	29
18	Plateaukurve für verschiedene Gasmischungen.	30
19	Plateauanfang und Plateauende für verschiedene Gasmischungen	31
20	Strom-Zeitdiagramm für ein Profil	32
21	Ladungsspektrum einer Kammer	33
22	Ladungsspektrum mit angepaßter Parameterfunktion	34
23	Spurrekonstruktion	34
24	Ladungsspektrum ohne Schwelle	35
25	Nachweiswahrscheinlichkeit der Kammer	36
26	Strom- und Ladung einer 'schlechten' Kammer	38
27	Mittlere Ströme aller Kammern	39
28	Mittlere Ströme zu verschiedenen Zeitabschnitten für ein Profil	40
29	Luftdruckabhängigkeit des Anodenstromes	41
30	Die Abhängigkeit des Anodenstroms vom Argonanteil	41
31	Tages-Ladungshistogramm, Wochen-Ladungshistogramm	43
32	Ladungsspektren aus verschiedenen Meßperioden	44
33	Mittelwerte der Ladungsspektren einer Kammer innerhalb verschiedener Zeitabschnitte	45
34	Luftdruckabhängigkeit der Ladungsmittelwerte	45
35	Abhängigkeit der Ladungsmittelwerte vom Argonfluß	46
36	Ladungs-Stromabhängigkeit	48
37	Nachweiswahrscheinlichkeit einer Kammer vor und nach den Änderungen im Gassystem	49
38	Mittlere Nachweiswahrscheinlichkeit aller Kammern	50
39	Entwicklung der Nachweiswahrscheinlichkeit für alle Kammern	51
40	Stromverlauf mit dem alten Gassystem	52
41	Abhängigkeit der Nachweiswahrscheinlichkeit vom Argonanteil	53
42	Ladungs- und Stromspektrum einer besonderen Kammer	55

43	Nachweiswahrscheinlichkeiten, Ladungen und Ströme einer auffälligen Kammer .	56
44	Normale und anormale Zählratenkurve	57
45	Datennahmeprogramm Strommessgerät	61
46	Datennahmeprogramm Strommessgerät	62
47	Datennahmeprogramm Strommessgerät	63
48	Strom-Zeitdiagramm	65
49	Strom-Zeitdiagramm	66
50	Strom-Zeitdiagramm	67
51	Strom-Zeitdiagramm	68
52	Strom-Zeitdiagramm	69
53	Strom-Zeitdiagramm	70
54	Ladungsspektrum	71
55	Ladungsspektrum	72
56	Ladungsspektrum	73

Tabellenverzeichnis

1	Absorptionlängen und Strahlungslängen im Flüssig-Argon Kalorimeter	6
2	Energie, bzw. Impulsauflösung einzelner Detektorkomponenten	7
3	Ortsauflösung einzelner Detektorkomponenten	8
4	Bezeichnungen der Bestandteile des Streamerrohrkalorimeters	12
5	Eigenschaften der Durchflußmeßgeräte	22
6	Betriebsstatistik aller Kammern	37
7	Abhängigkeiten von Gasmischung und Luftdruck von Strom- und Ladungsmit- telwerten	42
8	In der Tabelle werden alle Kammern, die im Langzeittest waren aufgeführt. . . .	64

Literatur

- [1] Proceedings of the HERA WORKSHOP, DESY HERA 87/10, Hamburg 1987, (unveröffentlicht)
- [2] E. Iarocci, Plastic Streamer Tubes and their Application in High Energy Physics, Nucl. Instr. and Meth. 217(1986)
- [3] HERA proposal Report, DESY HERA 81/10 Hamburg 1981 (unveröffentlicht)
- [4] F.Sauli Principles of Operation of Multiwire Proportional and Drift Chambers Geneva 1977
- [5] Performance of a Pb-Cu Liquid-Argon Calorimeter with an Iron Streamer Tube Tail Catcher DESY 88-073
Results from a test of an iron streamer tube calorimeter DESY 87-172
Results from a test of a Pb-Fe Liquid Argon calorimeter DESY 89-022
Results from a test of a Pb-Cu Liquid Argon calorimeter DESY 87-098
- [6] R.Bouclier et al.
Nucl.Instr. and Meth. 88(1970)149.
- [7] G.D.Alekseev et al.
Investigation of Self-Quenching Streamer Discharge in a Wire Chamber
Nuc.Instr. and Meth. 177(1980)385-397
- [8] Experience with Iarocci tubes produced on a large scale, W.Busza, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A265 (1988)210-217, North-Holland, Amsterdam
- [9] Beschreibung eines Gassystems für einen Serientest mit H1-Streamerrohrkammern.
H.Genzel (unveröffentlicht)
- [10] Diplomarbeit Stefan Zitzen
(10.1987, unveröffentlicht), RWTH Aachen, I.Physikalisches Institut 1b
- [11] The limited streamer tubes of the SLD, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A290(1990)353-369
- [12] Beschreibungshandbuch der Massendurchflußregler, MKS Instruments Deutschland GmbH
- [13] J.Tutas, RWTH Aachen, I.Phys Inst.1b
ROC: The Read-Out-Controller for the digital muon system, December 20, 1988
- [14] Jörg Tutas, Data Acquisition Programm, I.Physikalisches Institut
- [15] Buchholz M., Elektronik-Entwicklung, I.Physikalisches Institut RWTH Aachen, private Mitteilungen

- [16] O.C. Allkofer, Introduction to Cosmic Radiation, Karl Thiernig Verlag, München 1975, Seite 118
Review of particle properties, Particle Data Group, April 1982, Seite 34
- [17] Helmut Bergstein, Engelbert Vogel: Produktion von Streamerkammern, private Mitteilungen
- [18] D. Wilkinson, Ionisation Chambers and Counters, Cambridge, U.P. (1950)

Danksagung

Ich möchte Herrn Professor Dr. Ch. Berger für die Ermöglichung dieser Arbeit danken. Herrn Dr. F. Raupach danke ich für seine Unterstützung und Ermunterung und vor allem auch für die aufmerksame Durchsicht dieser Arbeit.

Besonders danke ich den Herrn H. Bergstein und S. Zitzen für die vielen Diskussionen. Herrn M. Buchholz möchte ich für sein stetes Interesse an meiner Arbeit, und vor allem für die Bereitstellung des Strommessgerätes und der Elektronik für die Massendurchflußmesser danken. Der gesamten mechanischen und der elektronischen Werkstatt danke ich für die meist prompte Erledigung meiner diesbezüglichen Wünsche.

Bildungsgang

Ich wurde als erstes und einziges Kind meiner Eltern Gertrud Krieg und Helmut Krieg am 19 März 1963 in Krefeld-Hüls geboren. Im Jahre 1969 wurde ich in die städtische Grundschule in Krefeld-Verberg eingeschult. Vier Jahre später wechselte ich auf das neusprachliche Ricarda-Huch Gymnasium in Krefeld. Nachdem ich 1982 dort mein Abitur ablegte, begann mein Studium an der RWTH Aachen. Im Sommer 1985 legte ich mein Vordiplom ab und begann im Winter 1987 mit dem Hauptpraktikum am I.Physikalischen Institut der RWTH Aachen.