

Untersuchung eines Systems aus Streamer-Tubes

mit digitaler induktiver Auslese

Juni 1987

Diplomarbeit

vorgelegt von

Peter Hartz

Lehrstuhl für Experimentelle Physik V

Institut für Physik

Universität Dortmund

1.	Einleitung	1
2.0	Wechselwirkung von Teilchen mit Materie	5
2.1	Wechselwirkung geladener Teilchen mit Materie	5
2.2	Wechselwirkung von Photonen mit Materie	6
3.0	Funktionsweise eines Gasdetektors	7
3.1	Aufbau eines Gasdetektors	7
3.2	Arbeitsbereiche eines Gasdetektors	7
3.3	Wahl der Gasmischung	10
3.4	Der Streamer-Mode	11
3.4.1	Phänomenologie des Streamer-Mode	11
3.4.2	Mechanismus des Streamer-Mode	14
3.5	Das Verfahren der induzierten Signalauslese	15
4.0	Die Meßapparatur	17
4.1	Streamer-Tubes	17
4.2	Das Gestell	19
4.3	Die Gasversorgung	20
4.4	Die Hochspannungsversorgung	21
4.5	Kosmische Myonen	22
4.6	Der Trigger	23
4.7	Die Ausleseelektronik	24
5.0	Diskussion des Auswerteverfahrens	28
5.1	Rekonstruktion der Teilchenbahn durch eine Geradenanpassung	29
5.2	Untersuchung der Genauigkeit des Rekonstruktionsverfahrens	33
5.3	Bestimmung der Efficiencies ohne Korrekturfaktoren	37
5.4	Spurlängenverteilung der Teilchenbahnen	40

6	Resultate der Messungen	42
6.1	Streamer-Tubes mit Deckel	42
6.1.1	Auslese auf der Oberseite	42
6.1.1.1	Efficiency und Clustergröße als Funktion der Hochspannung und der Ausleseschwelle	44
6.1.1.2	Abhängigkeit der Clustergröße vom Kanal	48
6.1.1.3	Abhängigkeit der Eigenschaften der Profile vom Oberflächenwiderstand	51
6.1.2	Auslese auf der Unterseite	55
6.1.2.1	Efficiency und Clustergröße als Funktion der Hochspannung und der Ausleseschwelle	55
6.1.2.2	Abhängigkeit der Clustergröße vom Kanal	56
6.1.2.3	Abhängigkeit der Eigenschaften der Profile vom Oberflächenwiderstand	57
6.2	Messungen mit einer Streamer-Tube ohne Deckel	58
6.3	Messungen mit zwei Streamer-Tubes mit umgekehrter Polarität der Hochspannung	59
6.4	Ereignisse mit einer großen Zahl gefeuerter Kanäle	60
7.	Zusammenfassung	64
Anhang :		
A1.1	Abbildungen	65
A1.2	Abbildungsverzeichnis	108
A2.	Literaturverzeichnis	113

1. Einleitung

Die Hochenergiephysik erforscht die elementaren Bausteine der Materie und deren Wechselwirkungen. Während sie dabei in immer kleinere räumliche Größenordnungen vordringt, nehmen die dafür benötigten Beschleuniger und Detektoren immer größere Ausmaße an. Ein solcher ist der sogenannte H1-Detektor, der im Jahre 1990 die Untersuchungen von Lepton-Quark-Wechselwirkungen am Elektron-Proton-Speicherring HERA aufnehmen soll.

Die Untersuchung solcher Ereignisse soll unter anderem dem Test des Standardmodells, der Suche nach weiteren Generationen von Leptonen und Quarks oder deren Substruktur dienen. Hierzu ist eine gute Identifikation aller Reaktionsprodukte sowie die Bestimmung ihrer Eigenschaften wie Energie, Impuls, Ladung und Teilchenbahn notwendig.

Abbildung 1 zeigt einen senkrechten Schnitt durch den H1-Detektor längs der Strahlachse. Seine asymmetrische Struktur folgt aus der Kinematik von Stößen von 30 GeV Elektronen mit 820 GeV Protonen /1/.

Der Wechselwirkungspunkt ist von einem zentralen Spurdetektor umgeben, der in Flugrichtung der Protonen von einem Vorwärtsdetektor ergänzt wird. Beide dienen der Impulsmessung in dem von der supraleitenden Spule erzeugten Magnetfeld von 1.2 Tesla. Sie ermöglichen ferner die Auflösung vieler Teilchenspuren und die Messung des spezifischen Energieverlustes.

Die Spurdetektoren sind von Kalorimetern umgeben. Diese dienen der Energiemessung sowie der Bestimmung von Jetachsen. Im Vorwärts- und im Seitenbereich folgt zunächst das elektromagnetische und darauf das hadronische Kalorimeter. Sie benutzen flüssiges Argon als Nachweismedium und Blei bzw. Stahl als Absorber.

Die Energiemessung von Teilchen, die unter kleinen Winkeln zur Strahlachse emittiert werden, erfolgt durch ein Silizium-Kalorimeter in Vorwärts- und ein Blei-Szintillator-Kalorimeter in Rückwärtsrichtung.

Die flüssig-Argon-Kalorimeter sind von der supraleitenden Spule und deren Kryostat umgeben. Die Rückführung des magnetischen Flusses erfolgt durch eine Eisenstruktur, in die Streamer-Tubes eingelassen sind. Sie wird als sogenannter Tail-Catcher bezeichnet und weist die Restenergie nach, die nicht in den Kalorimetern absorbiert wird. Dazu werden die Streamer-Tubes auf der Oberseite mit rechteckigen Elektroden, auch Pads genannt, ausgelesen. Diese besitzen eine auf den Wechselwirkungspunkt ausgerichtete Turmstruktur.

Auf der Unterseite der Streamer-Tubes laufen streifenförmige Elektroden, im Folgenden als Strips bezeichnet, parallel zu den Drähten. Die Strips werden im Gegensatz zu den Pads digital ausgelesen. In Verbindung mit drei weiteren Lagen von Streamer-Tubes vor, in und hinter der Eisenstruktur werden die Spuren von Myonen verfolgt. Diese zusätzlichen Lagen werden durch senkrecht bzw. parallel zu den Drähten orientierte Strips auf der Ober- bzw. Unterseite der Streamer-Tubes ausgelesen. Die Krümmung der Spuren im magnetisierten Eisen erlaubt ergänzend zum zentralen Spurdetektor eine weitere Messung des Myonimpulses.

Die Messung des Impulses von in Vorwärtsrichtung emittierten Myonen wird durch ein separates Myon-Spektrometer verbessert. Es besteht aus einem, zwischen zwei Paaren von Driftkammern befindlichen, mit 1.5 Tesla magnetisierten Eisentoroiden.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den oben erwähnten Streamer-Tubes. Für deren Einsatz in Teilchendetektoren spricht nicht zuletzt die kostengünstige Herstellung, die bei einer Bedeckung von mehreren Tausend Quadratmetern nicht zu vernachlässigen ist. Die Streamer-Tubes bestehen aus mit Graphit beschichtetem Plastik und können in nahezu beliebiger Größe hergestellt werden. Sie arbeiten mit 100 μm dicken Drähten und stellen entsprechend weniger große Ansprüche an die mechanische Behandlung. Die Streamer-Tubes weisen einen Betriebsmodus auf, der größere Signale als der Proportionalmodus von Gasdetektoren liefert. Diese Signale sind zudem weitgehend unabhängig von der deponierten Energie. als was?

Ein besonderer Vorteil ist in der großen Flexibilität bei der Gestaltung der Signalauslese zu sehen. Die Signale werden von der graphitierten Kathode nicht abgeschirmt und können von auf der Außenseite des Gehäuses positionierten Elektroden nachgewiesen werden. Diese Elektroden sind unabhängig von der Hochspannungsversorgung und erlauben deshalb eine freie Wahl der Gestalt. Sie können sowohl auf der Ober- als auch auf der Unterseite der Streamer-Tubes angebracht werden.

In dieser Arbeit werden ausschließlich Messungen mit digitaler Auslese von parallel zu den Drähten laufenden Strips durchgeführt. Es werden folgende Größen bestimmt :

- die Nachweiswahrscheinlichkeit für kosmische Myonen
Hier müssen geometrische Effekte durch Wände in den Streamer-Tubes berücksichtigt werden.
- die Anzahl der Strips, die beim Durchgang eines Myons ein Signal liefern
Diese Größe, im Weiteren auch als Clustergröße bezeichnet, beschreibt die Fähigkeit, mehrere Teilchenspuren voneinander zu trennen.

2.0 Wechselwirkung von Teilchen mit Materie

Der Durchgang von Teilchen durch Materie ist mit einem Energieverlust aufgrund unterschiedlicher Wechselwirkungen verbunden. Für den Teilchennachweis in Detektoren ist nur die elektromagnetische Wechselwirkung von Bedeutung, die für geladene Teilchen und Photonen in verschiedenen Formen auftritt.

2.1 Wechselwirkung geladener Teilchen mit Materie

Von den verschiedenen Formen der elektromagnetischen Wechselwirkung, das sind die Brems-, Cherenkov-, Übergangsstrahlung und Coulombwechselwirkung, liefert in Gasdetektoren nur die zuletzt genannte einen dominanten Beitrag, der durch die sogenannte Bethe-Bloch-Formel beschrieben wird /2/ (Abb. 2) :

$$-dE/dx = (4\pi r_e^2 m c^2 N_A Z z^2 / A \beta^2) (\ln(2mc^2 \beta^2 / ((1-\beta^2) I)) - \beta^2)$$

Diese gilt für ein Teilchen der Ladung ze , das sich mit der Geschwindigkeit $v=\beta c$ in einem Medium der Ordnungszahl Z und Massenzahl A bewegt. N_A bezeichnet die Avogadro-Konstante, m die Elektronenmasse, $r_e=2.8$ fm den klassischen Elektronenradius, I ein mittleres Ionisationspotential, das näherungsweise der Beziehung $I=12eV Z$ genügt, und dE/dx den Energieverlust pro Weglänge.

Der Energieverlust pro Weglänge ist unabhängig von der Masse des Teilchens, fällt zunächst umgekehrt proportional zu dessen Geschwindigkeitsquadrat und durchläuft ein Minimum bei $\beta \approx 0.97$. Für $\beta \rightarrow 1$ steigt der Energieverlust des Teilchens wegen des Anwachsens der Komponente des elektrischen Feldes senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung an und geht schließlich aufgrund von Polarisierungseffekten

in eine Sättigung über, die für Gase beim Eineinhalbfachen des Energieverlustes im Minimum liegt. Letzterer beträgt näherungsweise $2 \text{ MeV } \rho \text{ g}^{-1}\text{cm}^2$, wobei ρ die Dichte des Mediums bezeichnet. Die auf das Medium übertragene Energie führt zur Anregung oder Ionisation der Moleküle bzw. Atome und zeigt so den Durchgang des Teilchens an.

2.2 Wechselwirkung von Photonen mit Materie

Die Wechselwirkung von Photonen mit Materie wird durch den Massenabsorptionskoeffizienten μ beschrieben, welcher in Abhängigkeit von deren Energie die Beiträge des Photoeffekts, der Compton-Streuung sowie der Paarbildung zusammenfaßt (Abb. 3). Sie führt zu einer exponentiellen Abnahme der Intensität I eines Photonenstrahls als Funktion der zurückgelegten Wegstrecke x /2/ :

$$I(x) = I_0 \exp(-\mu x)$$

3.0 Funktionsweise eines Gasetektors /2,3/

Gasdetektoren zeigen den Durchgang von Teilchenstrahlung an, indem sie die dabei deponierte Energie in ein elektronisches Signal umwandeln. Hierzu werden die durch Ionisation der Gasatome oder -moleküle entstehenden Elektronen gesammelt.

3.1 Aufbau eines Gasetektors

Die für den Betrieb eines Gasetektors wesentlichen Aspekte seien am Beispiel eines zylindrischen Detektors erläutert. Dieser hat den in Abbildung 4 schematisch dargestellten Aufbau. Er besteht aus einer zylinderförmigen Metallkathode mit Radius r_a und einem längs deren Achse verlaufenden Anodendraht mit Radius r_i . r_a liegt in der Größenordnung eines Zentimeters, typische Anodendurchmesser betragen 20 bis 100 μm . Die Kathode ist geerdet, die Anode liegt über einem Arbeitswiderstand von ungefähr 1 M Ω an einer Hochspannung U_0 von einigen 100 bis 1000 Volt. Diese erzeugt ein radialsymmetrisches Feld $E(r)$ der Form

$$E(r) = U_0 / (r \ln (r_a / r_i)) .$$

r bezeichnet den Abstand von der Anode. l

Der Detektor ist im Allgemeinen mit einem Zwei- oder Drei-Gas-Gemisch gefüllt, auf dessen Rolle weiter unten eingegangen werden soll.

3.2 Arbeitsbereiche eines Gasetektors

Das Verhalten eines Gasetektors wird durch die angelegte Hochspannung bestimmt. Betrachtet man das Schicksal eines von einem geladenen Teilchen oder Photon, durch einen der in Kapitel 2 beschriebenen Wechselwirkungsmechanismen erzeugten Elektron-Ion-Paares, so können folgende Arbeitsbereiche unterschieden werden (Abb. 5).

a) Rekombination

Bei niedrigen Hochspannungen reicht die Feldstärke nicht aus, um in vielen Fällen eine Rekombination der primär erzeugten Ladungen zu verhindern. Der Durchgang eines Teilchens durch den Detektor bleibt deshalb unbemerkt.

b) Ionisationskammer

Nach Erhöhen der Hochspannung auf wenige 100 Volt werden die Elektronen in Richtung auf die Anode und die Ionen zur Kathode beschleunigt. Die elektrische Feldstärke reicht nicht aus, um ein Elektron zwischen zwei Stößen mit den Molekülen des Gases derart zu beschleunigen, daß es die zur Ionisation der Gasmoleküle notwendige kinetische Energie erhält. Als Ionisationskammer arbeitend, sammelt der Detektor die primär erzeugte Ladung. Bei einer typischen Detektorkapazität von 10 pF und 120 erzeugten Elektron-Ion-Paaren ergibt dieses eine Signalhöhe von nur 2 μ V. Die Ionisationskammer findet deshalb vorwiegend beim Nachweis großer Teilchenflüsse Verwendung.

c) Proportionalzähler

Bei weiterem Erhöhen der Hochspannung arbeitet der Detektor als Proportionalzähler, und das elektrische Feld in Drahtnähe beträgt ungefähr 10^4 - 10^5 V/cm. Das reicht zur Ionisation des Gases durch die primär erzeugten Elektronen aus. Die hierbei erzeugten Elektronen werden ebenfalls beschleunigt und führen zu weiteren Ionisationen. Es entwickelt sich eine sogenannte Townsend-Lawine. Abbildung 6 zeigt den Ersten Townsend Koeffizienten α , der die Anzahl erzeugter Elektron-Ion-Paare N als Funktion der in Feldrichtung zurückgelegten Wegstrecke x ^{in Feldrichtung} angibt :

$$N(x) = N_0 \exp(\alpha x)$$

$M = \exp(\alpha x)$ wird als Gasverstärkung bezeichnet und liegt für Proportionalzähler im Bereich von 10^4 - 10^6 . Die Signale betragen einige mV und ermöglichen deshalb den Nachweis einzelner Teilchen. Die Ionen driften aufgrund ihrer großen Masse langsam zur Kathode und liefern keinen Beitrag zum Multiplikationsprozeß. Eine Townsend Lawine hat die in Abbildung 7 dargestellte tropfenförmige Gestalt.

2 μ V $\cdot 10^5$
Lina

Für Gasverstärkungen von 10^6 führt die mit den positiven Ionen verknüpfte Raumladung zu einer Abschwächung des elektrischen Feldes. Die Gasverstärkung für Teilchen mit geringerer primärer Ionisation wächst stärker als Funktion der Hochspannung als für solche mit größerer primärer Ionisation. Man findet schließlich eine Betriebsspannung, bei der die gesamte im Lawinenprozeß erzeugte Ladung unabhängig von der primär erzeugten ist.

e) Der Geiger-Müller Bereich

Im sich anschließenden Geiger-Müller Bereich erlangen die bisher unerwähnt gebliebenen Photonen eine wichtige Bedeutung. Sie stammen aus Anregungen der Gasatome bzw. Moleküle und sind wegen der Größe der Lawine so zahlreich, daß nicht alle in ihrer Nähe absorbiert werden können. Durch Photoeffekt werden Elektronen aus Atomen in weiterer Entfernung von der ursprünglichen Lawine entfernt und erzeugen dort zusätzliche Lawinen. Auf diese Weise entsteht ein den gesamten Draht einhüllender Schlauch positiver Ionen, der das angelegte elektrische Feld abschirmt. Während der Zeit, die diese Ionen für die Drift zur Kathode benötigen, kann deshalb keine weitere einfallende Strahlung nachgewiesen werden. Diese Zeit heißt auch Totzeit und beträgt einige 100 μ sec.

f) Unter bestimmten Bedingungen tritt anstelle des Übergangs vom Proportional- in den Geiger-Müller-Bereich ein Übergang in den Streamer-Mode ein. Dieser wird weiter unten besprochen.

3.3 Wahl der Gasmischung

Die beim Betrieb eines Gasdetektors verwendeten Gase lassen sich in zwei Gruppen einteilen. Die Gase der ersten Gruppe stellen das Arbeitsgas dar. Sie sind leicht zu ionisieren und besitzen keine Elektronenaffinität, d. h. die Eigenschaft, Elektronen anzulagern und dadurch aus der Lawine zu entfernen. Zu dieser Gruppe zählen die Edelgase, deren prominentester Vertreter das Argon darstellt.

Die Gase der zweiten Gruppe zeichnen sich durch das aus, was im Hinblick auf die Ionisationsausbeute von Nachteil ist, die Vielatomigkeit. Ihre Aufgabe ist es, die bei der Abregung angeregter Zustände der Gase der ersten Gruppe emittierten Photonen vor Erreichen der Kathode abzufangen. Vielatomige Moleküle besitzen weiterhin die Eigenschaft, durch Ladungsaustausch die positiven Ionen des Arbeitsgases am Erreichen der Kathode zu hindern. Anderenfalls werden wie bei den Photonen weitere Lawinen ausgelöst. Die Abregung vielatomiger Moleküle an der Kathode führt zu deren Dissoziation anstelle der Emission unerwünschter Photonen. Angehörige dieser zweiten Gruppe von Gasen, die auch als Löschgase bezeichnet werden, sind Alkohole und Kohlenwasserstoffe, z.B. Isobutan.

3.4 Der Streamer-Mode

Bei Messungen mit Gasdetektoren werden unter bestimmten Bedingungen Signale beobachtet, deren Charakteristik nicht mit der üblicherweise in Gasdetektoren gemessener Signale übereinstimmt. Genauere Untersuchungen zeigen, daß es sich hier um einen neuen Betriebsmodus von Gasdetektoren handelt. Dieser erhält den Namen " Streamer-Mode " .

3.4.1 Phänomenologie des Streamer-Mode /4/

In Abbildung 8 ist für Messungen an einer Vieldrahtproportionalkammer bei einem Beschuß mit 5.9 KeV Gammaquanten einer ^{55}Fe -Quelle das Spektrum der am Signaldraht gesammelten Ladung Q als Funktion der angelegten Hochspannung HV dargestellt :

Für $HV=2.9$ KV und $HV=3.0$ KV arbeitet die Kammer im Proportionalmode. Dieses ist aus dem Verhältnis der Ladungen der zwei Peaks ersichtlich, das den Wert 2 annimmt, wie man es für das 5.9 KeV Signal und den 2.95 KeV Escape-Peak in Argon erwartet. Erhöhen der Hochspannung auf 3.3 KV führt zum Übergang in den Bereich begrenzter Proportionalität, am Überlappen der beiden Peaks erkennbar. Weiteres Erhöhen der Hochspannung auf 3.4 KV liefert einen nächsten, vom ersten deutlich getrennten Peak bei größeren Ladungen. Für 3.5 KV und 3.6 KV fallen immer mehr Signale in den zweiten Peak, bis bei 3.7 KV nur noch dieser vorhanden ist. Von 3.9 KV bis 4.7 KV findet ein weiterer Durchgang von einer Ein-Peak-Struktur über zwei Peaks in eine Ein-Peak-Struktur statt. Hier sind die beiden Peaks aber nicht wie beim ersten Übergang voneinander getrennt.

Eine übersichtlichere Darstellung des hier beschriebenen Vorgangs gibt Abbildung 9. Dort sind jeweils die Ladungsschwerpunkte der Verteilungen aus Abb.8 als Funktion der Hochspannung dargestellt.

Das Unerwartete an diesem Verhalten ist, daß sich an den Bereich begrenzter Proportionalität nicht der Geiger-Müller-Bereich anschließt. Dieser Übergang wäre allmählich erfolgt und hätte keinen Sprung in der Ladungs-Spannungs-Charakteristik gezeigt. Einen weiteren Hinweis dafür, daß es sich nicht um den Geiger-Müller-Bereich handelt, gibt die Gegenüberstellung der in Tabelle 1 aufgeführten Größen /4/ :

Tabelle 1 Vergleich typischer Parameter des Streamer-Mode mit denen des Geiger-Müller-Bereich

Streamer-Mode	Geiger-Müller-Bereich
$t_{tot} * l_{ineff} = 30 \mu\text{sec} * \text{cm}$	$t_{tot} = 500 \mu\text{sec}$
$t_{sig} = 40 \text{nsec}$	$l_{ineff} = \text{Länge des gesamten Drahtes}$
	$t_{sig} = 1.5 \mu\text{sec}$

mit t_{tot} : Totzeit, in der keine Teilchen registriert werden

l_{ineff} : Länge des Drahtes, auf der die mit den positiven Ionen verbundene Raumladung das äußere Feld abschirmt

t_{sig} : zeitliche Dauer des Signals

Im Streamer-Mode wird nur ein kleiner Teil des Drahtes, $O(200 \mu\text{m})$, von der Entladung erfaßt, und die Signale sind wesentlich schneller als im Geiger-Müller-Bereich. Eine zusätzliche Bestätigung der Eigenschaften des Streamer-Mode liefern Photographien von Streamern /5/ in Abbildung 10.

Die Photographien zeigen auch eine Richtungsabhängigkeit des Streamers. Er entwickelt sich in die Richtung, aus der die Townsend-Lawine am Draht ankommt.

An dieser Stelle soll nicht unerwähnt bleiben, daß es sich bei den angegebenen nur um typische Werte handelt, die von der speziellen Meßanordnung abhängen.

Weitere Aspekte, die den Streamer-Mode auszeichnen, sind :

- große Zählratenplateaus : 400 V. . . 1000 V
- große Drahtdurchmesser : 20 μm . . . 100 μm

Die Gasgemische, mit denen ein Übergang in den Streamer-Mode erreicht werden kann, haben einen hohen Löschgaseanteil. Eine typische Gasmischung ist 25% Ar / 75% Isobutan.

Messungen der Ladungsabhängigkeit des Streamers zeigen, daß zum Übergang in den Streamer-Mode eine Mindestladung der Lawine notwendig ist (Abb. 11) .

Für den Übergang in den Streamer-Mode wird bei Einstrahlung von Elektronen aus einer ^{90}Sr -Quelle eine größere Hochspannung benötigt, weil diese mit einer Energie von 2.28 MeV eine niedrigere Primärionisation bewirken als 5.9 keV Photonen. Die höhere Hochspannung bewirkt durch die mit ihr wachsenden Gasverstärkung, daß die Lawine am Draht die gleiche Ladung besitzt wie jene für Photonen aus der ^{55}Fe -Quelle. Wird, wie in /4/, der Übergang vom Proportional- in den Streamer-Mode an der Stelle definiert, an dem die Hälfte aller Signale bereits streamerförmig ist, dann ergibt sich eine notwendige Ladung $Q_{\text{thr}} = 2 \cdot 10^7 e$.

$$10^{-3} \cdot 2.28 \cdot 10^6 \text{ keV} \approx 2.28 \text{ keV}$$

Der zweite Sprung in der Ladungs-Hochspannungs-Characteristik wird nicht als ein Übergang in einen neuen Modus der Gasverstärkung angesehen. Hierfür spricht, daß sich weder die Signalform, noch die Totzeit oder die Länge des vom Streamer verursachten ineffizienten Drahtstückes wesentlich ändern.

9
was passiert dann
dann?

3.4.2 Mechanismus des Streamer-Mode

Im Gegensatz zum Verständnis, zu dem man über die Townsend-Lawine gelangt ist, besteht derzeit kein Modell über den Streamer-Mode, das aufgrund quantitativer Aussagen eine ähnliche Akzeptanz aufweisen kann. Im Folgenden wird ein Modell des Streamer-Modus nach Atac et al. beschrieben /5/, Abbildung 12.

Die Entwicklung des Streamers verläuft zunächst genauso wie die einer Townsend-Lawine. Besitzt diese eine Ladung von ungefähr $10^{10}e$, so schirmt deren Raumladung das äußere statische Feld in ihrem Inneren ab. Dort rekombinieren Elektronen und Gasionen unter Aussendung von Photonen. Ist der Anteil an Löschgas hinreichend groß, so gibt es Photonen, die in unmittelbarer Nähe der Raumladung konvertieren. Die dabei erzeugten Elektronen erfahren an der Spitze der Lawine ein starkes Feld, in dem sie die Energie zu Ionisationen erlangen und weitere sekundäre Lawinen erzeugen. Die sich an der Spitze des Streamers ereignenden Multiplikationsprozesse führen zum Wandern der Lawine in Richtung auf die Kathode. Der Streamer erreicht dabei auch solche Bereiche, in denen das äußere Feld allein nicht ausreichen würde, um Lawinen auszulösen. Hier trägt der Streamer sich selbst. Er bricht schließlich ab, weil das von ihm erzeugte Feld wegen Anwachsens seiner Spitze immer schwächer wird und deshalb keine neuen Lawinen gebildet werden können.

Nun ist auch verständlich, daß für die Entstehung eines Streamers eine große Konzentration von Löschgaz notwendig ist :

Erstens, damit die von der Lawine emittierten Photonen noch im Bereich des starken Feldes konvertieren und zweitens, damit keine Photonen aus dem Kopf des Streamers die Kathode erreichen und dort Elektronen auslösen.

3.5 Das Verfahren der induzierten Signalauslese

Abbildung 13 zeigt einen Ausschnitt aus einer Streamer-Tube, wie sie auch für die in dieser Arbeit durchgeführten Messungen benutzt wird /1/.

Eine genauere Beschreibung dieser Streamer-Tube wird in Kapitel 4 gegeben. Für die Erklärung der induzierten Auslese reicht es aus zu wissen, daß jeder der rechteckigen Kanäle wie ein im Kapitel 3.1 beschriebener Gasdetektor arbeitet. Ein wesentlicher Unterschied ist jedoch, daß die Kathode nicht aus Metall, sondern aus mit Graphit beschichtetem PVC besteht. Ein typischer Oberflächenwiderstand der Kathode beträgt $100 \text{ k}\Omega/\square$. Auf der Außenseite des Gehäuses laufen über Auslewewiderstände geerdete Aluminiumstreifen, Strips, parallel zu den Drähten.

Da die Kathode also kein idealer Leiter ist, wird das mit der Entwicklung eines Streamers verbundene schnell veränderliche elektrische Feld nicht von dieser abgeschirmt. Die bei einem Streamer erzeugten Elektronen fließen über den Draht zur Erde, und es verbleiben die positiven zur Kathode driftenden Ionen. Diese Raumladung induziert einen positiven Abschirmstrom in den Strips. Das bietet neben der Drahtauslese eine weitere Möglichkeit zum Nachweis von Streamern.

Abbildung 14 zeigt die bei den induzierten Strömen von den Strips fließenden positiven Ladungen. Die Ladungen sind hier auf diejenige normiert, welche von dem Strip fließt, welcher sich direkt über dem Streamer befindet. Abbildung 15 zeigt die gleiche Verteilung für den Fall, daß die Kathode auf der Oberseite mit einem graphitierten Deckel von $1 \text{ M}\Omega/\square$ geschlossen wird. Die einzelnen Strips sind durch Punkte gekennzeichnet.

Der Strip direkt über dem Streamer weist das größte Signal auf, aber auch auf den benachbarten Strips werden Ladungen nachgewiesen. Im Falle der Kathode ohne Deckel kann die gemessene Ladungsverteilung durch ein einfaches statisches Modell beschrieben werden /6/. Die Ladungsverteilung entspricht derjenigen einer Ladung zwischen zwei leitenden Ebenen. Eine Ebene ist durch die Kathode gegeben, wobei die Wände zwischen den einzelnen Kanälen nicht beachtet werden. Die andere Ebene ist diejenige, in der die Strips liegen.

Für die Berechnung der Ladungsverteilung für eine mit Deckel geschlossene Kathode gibt es kein einfaches Modell. Hier gibt es Versuche, das System der Elektroden durch ein Netz von Widerständen und Kapazitäten numerisch zu simulieren /8/. Abbildung 15 zeigt, daß der endliche Widerstand des Deckels zu einer Verbreiterung der Verteilung führt. Diese Verbreiterung wird von einem Stromfluß im Deckel bewirkt.

Die Strips können sowohl auf der Oberseite einer Streamer-Tube als auch auf deren Unterseite angebracht werden. Bei einer Auslese auf der Unterseite ergibt sich ebenfalls eine Verbreiterung der induzierten Ladungsverteilung, da typische Kathodenwiderstände noch um einen Faktor 10 kleiner sind als der eines Deckels /6/.

4.0 Die Meßapparatur

Alle Messungen werden mit der gleichen Apparatur durchgeführt. Sie besteht aus folgenden Komponenten (Abb. 16) :

4.1 Streamer-Tubes

Als Streamer-Tube wird hier eine Einheit aus zwei PVC-Profilen in einem gasdichten PVC-Gehäuse bezeichnet (Abb. 17). Die Profile sind zum Zwecke der induktiven Auslese mit Graphit beschichtet, 380 mm lang, 81 mm breit und in acht offene Kanäle mit einem rechteckigen Querschnitt von 9 mm * 9 mm unterteilt. Die Wände zwischen den Kanälen sind 1 mm dick. Die Profile können auf der Oberseite mit einem PVC-Deckel von 1 mm Dicke geschlossen werden oder offen bleiben.

Die Signaldrähte laufen längs der Achsen der Kanäle und sind 100 µm dick. Sie sind mit der einer Masse von 100 g entsprechenden Gewichtskraft gespannt. Die Positionierung der Drähte erfolgt durch Lötunkte auf Platinen an beiden Enden des Profils. Diese sind mit Kämmen verklebt, die ihrerseits mit dem Profil verzahnt und verklebt sind. Als Kleber wird Araldit benutzt, das nicht ausgast. Durch die Kämmen wird die aktive Länge eines Kanals auf 340 mm verkürzt.

Für den H1-Detektor wird eine Auslese der Signaldrähte der Streamer-Tubes in Betracht gezogen. In diesem Fall soll das Profil auf Hochspannung liegen, um bei der Drahtauslese keine Koppelkondensatoren einsetzen zu müssen. Aus diesem Grund sind die in dieser Arbeit benutzten Streamer-Tubes für den Betrieb mit Profil auf Hochspannung konstruiert.

Die Signaldrähte führen also keine Hochspannung und werden auf Leiterbahnen durch ein Endstück nach außen geführt. Dort sind sie über 220Ω Widerstände mit der Masse des Koaxialkabels, welches der Hochspannungszuführung dient, verbunden. Zusammen mit dessen Wellenwiderstand von 50Ω wird also jeder Kanal mit 270Ω abgeschlossen. Das entspricht dessen Wellenwiderstand und vermeidet Reflexionen des Signals.

Die Verbindung des Profils mit Hochspannung erfolgt durch ein mit leitfähigem Kleber behaftetes Kupferband. Dieses ist an einem Ende in die einzelnen Kanäle zwischen Profil und Kamm gefaltet und wird auf die Unterseite des Profils geführt. Von dort läuft die Seele des zuvor erwähnten Koaxialkabels durch das Endstück des Gehäuses nach außen.

Das Endstück am anderen Ende des Gehäuses besitzt zwei Anschlüsse für den Gasein- und -auslaß. Da das Gehäuse durch einen Steg in zwei voneinander getrennte Hälften geteilt wird, strömt das Gas zunächst längs eines Profils, wechselt durch einen Kanal im ersten Endstück auf die andere Seite und strömt längs des zweiten Profils zum Gasaustritt. Die Streamer-Tubes wiesen in einem Wasserbad bei einem Überdruck von 0.6 bar keine Lecks auf.

Die unten beschriebenen Messungen wurden an neun Streamer-Tubes durchgeführt. Für die Streamer-Tubes 1 bis 8 sind die Profile mit einem Deckel verschlossen.

1000/10

Die Oberflächenwiderstände der einzelnen Profile erscheinen in Tabelle 2 :

Tabelle 2 : Oberflächenwiderstände der Profile

Streamer- Tube	Nummer des Profils	Widerstand [kΩ/□]	Nummer des Profils	- Widerstand [kΩ/□]
1	1	75	2	79
2	3	139	4	154
3	5	150	6	144
4	7	211	8	188
5	9	21	10	108
6	11	108	12	95
7	13	144	14	135
8	15	86	16	86
9	17	110	18	91

Die relativen Fehler der Oberflächenwiderstände werden auf 5% geschätzt. Der Oberflächenwiderstand des Deckels beträgt 1MΩ.

4.2 Das Gestell

Das Gestell dient der Positionierung der Streamer-Tubes im Raum (Abb. 18). Die Seitenteile bestehen aus Aluminium, die Ebenen zur Aufnahme der Streamer-Tubes aus Messing. Die beim Einkleben der Endstücke der Gehäuse entstehenden Klebewülste werden durch 2 mm dicke Abstandhalter auf der Unterseite der Gehäuse ausgeglichen. Stahlfedern an den Seiten der Streamer-Tubes verhindern ein Verrutschen.

4.3 Die Gasversorgung

Die Streamer-Tubes werden mit dem Standard-Gasgemisch $A_r/i-C_4H_{10}$ im Verhältnis 1:3 bei einem Durchfluß von 150 cm^3/min betrieben. Das liefert einen vollständigen Austausch des Kammergases in 30 Minuten und verhindert einen Verbrauch des Löschgases. Die Mischung der Gase erfolgt in einer Wirbelkammer nach Durchgang durch einen Durchflußmesser. Um eine gleichmäßige Durchspülung aller Streamer-Tubes zu erhalten, sind diese in Bezug auf den Gasfluß in Serie geschaltet. Aus Gründen der einfacheren mechanischen Handhabung werden für die Gaszu- und -abfuhr sowie die Verbindung zwischen den Streamer-Tubes PVC-Schläuche benutzt. Bei diesen besteht allerdings die Gefahr, daß sie durch Ausdünstungen das Kammergas verunreinigen und dadurch zu einem gestörten Betrieb der Streamer-Tubes beitragen. Die Gasabfuhr geschieht zwecks Entkopplung von der Außenwelt durch eine Waschflasche mit Silikonöl.

Nach Herstellerangaben beträgt die Reinheit der benutzten Gase :

99.998 % für Argon und

99.5 % für Isobutan.

Die für den Betrieb als Detektor-Gas relevanten Eigenschaften dieser Gase sind in Tabelle 3 aufgeführt :

Tabelle 3 : Eigenschaften von Argon und Isobutan

	E_{ex}	E_i	W_i	dE/dx_0	n_p	n_t
Ar	11.6 eV	15.7 eV	26 eV	2.44 KeV/cm	29.4	94
C_4H_{10}	----	10.6 eV	23 eV	4.50 KeV/cm	46	195

mit	E_{ex}	minimale Energie für Anregung
	E_i	minimale Energie für Ionisation
	W_i	mittlere Energie, die zur Erzeugung eines e-Ion-Paares benötigt wird
	dE/dx_0	Energieverlust minimal ionisierender Teilchen pro cm Wegstrecke
	n_p	Anzahl von primär erzeugten e-Ion-Paaren für min. ionis. Teilchen pro cm
	n_t	Gesamtzahl der erzeugten e-Ion-Paare für ein min. ion. Teilchen pro cm

} weitere ?

4.4 Die Hochspannungsversorgung

Die Verbindung der Profile mit negativer Hochspannung geschieht über einen Verteilerkasten (Abb. 16). Dieser ist auf der Eingangsseite entweder direkt, oder über einen 1 G Ω - Widerstand, mit dem Ausgang eines Hochspannungsgerätes verbunden. Auf der Ausgangsseite gibt es für jedes Profil einen Anschluß, der über einen 10 M Ω -Widerstand zur Entkopplung die Hochspannung führt. Ein Mikroamperemeter in der Hochspannungszuführung zum Verteilerkasten zeigt den Stromfluß durch alle Streamer-Tubes an. Dieser kann entweder vom Hochspannungsgerät oder dem

Verteilerkasten
 (8.2.1.1)
 8.1.1

1 G Ω -Vorwiderstand begrenzt werden. Letzterer wird nur bei der Konditionierung der Streamer-Tubes eingesetzt. Dort ist es nicht wichtig, die an den Profilen anliegende Hochspannung genau zu kennen. Da das Mikroamperemeter aufgrund statischer Aufladungen des Gehäuses eine Ungenauigkeit von 100 nA aufweist, ist sie nur bis auf 100 V genau bestimmt. Die unten beschriebenen Messungen werden deshalb ohne Vorwiderstand bei der kleinsten einstellbaren Strombegrenzung von 1 μ A durchgeführt. Die Strombegrenzung ist notwendig, um die Streamer-Tubes bei dauerhaften Entladungen, die aus ungeklärten Gründen immer wieder auftreten, vor ihrer Zerstörung zu schützen. durchgeführt.)

4.5 Kosmische Myonen

Zur Untersuchung des Systems von Streamer-Tubes wird eine Teilchenstrahlung benötigt, deren Reichweite groß genug ist, um alle Streamer-Tubes durchqueren zu können. Im Labor bieten sich hierzu kosmische Myonen an. Diese stammen primär aus dem Zerfall geladener Pionen, welche bei Wechselwirkungen hochenergetischer Atomkerne aus dem Weltraum mit Molekülen der Atmosphäre entstehen /9/. Die Myonen werden hauptsächlich in einer Höhe von 20 km über der Erdoberfläche produziert. Obwohl sie in ihrem Ruhsystem nur eine Lebensdauer von 2.2 μ sec besitzen, erreichen sie aufgrund der mit ihrer Energie verknüpften Zeitdilatation die Erdoberfläche. Dort besitzen sie eine mittlere Energie von 2 GeV. Die kosmischen Myonen treffen mit einer Intensität von ungefähr $2.4 \cdot 10^2 \text{ m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ aus allen Richtungen auf die Erdoberfläche. Ihre Winkelverteilung ist proportional zu $\cos^2(\theta)$, wobei θ den Winkel der Spur eines Myons gegen die Vertikale bezeichnet /10/.

4.6 Der Trigger

Der Trigger hat die Aufgabe, den Durchgang von Myonen durch das Teleskop aus den acht Streamer-Tubes anzuzeigen und die Auslese der Signale in den Streamer-Tubes zu starten. Hierzu befinden sich zwei Szintillatoren oberhalb der obersten und einer unterhalb der untersten Streamer-Tube. Die Szintillatoren besitzen eine Fläche von 15 cm * 29 cm und sind so angeordnet, daß jede Gerade, die alle Szintillatoren miteinander verbindet, auch durch alle Streamer-Tubes führt (Abb. 18). Beim Durchgang eines Myons durch einen Szintillator wird die in diesem deponierte Energie in ein Lichtsignal umgewandelt. Dieses wird über einen Lichtleiter auf einen Photomultiplier geführt, an dessen Ausgang ein Diskriminator einen genormten Puls in eine Koinzidenzeinheit speist. Der Durchgang eines Myons durch alle drei Szintillatoren liefert ein Signal am Ausgang der Koinzidenzeinheit, mit dem die Auslese der Streamer-Tubes gestartet wird (Abb. 19):

Die Photomultiplier laufen bei einer Hochspannung von 1950 V und liefern bei einer Diskriminatorschwelle von 250 mV die in Tabelle 4 aufgeführten Raten. Dort wird ebenfalls die Rate der Dreifachkoinzidenzen mit der gemessenen und errechneten Rate für zufällige Koinzidenzen verglichen.

feld

Tabelle 4 Vergleich der gemessenen und berechneten Raten zufälliger Koinzidenzen

Photomultiplier	Rate [sec ⁻¹]	3-fach Koinzidenzen [2h ⁻¹]
1	41	7000
2	72	<u>zufällig, gemessen</u> 190
3	152	zufällig, errechnet 2 * 10 ⁻⁴

2

Für eine Szintillatorfläche von $0.15 \text{ m} * 0.29 \text{ m}$ erwartet man mit der oben angegebenen Intensität kosmischer Myonen für einen Szintillator-Photomultiplier-Trigger eine Rate von ungefähr 10 sec^{-1} . Die in obiger Tabelle angegebenen Werte liegen deutlich darüber. Hierfür zeichnet das Rauschen der Photomultiplier verantwortlich.

Die zufälligen Koinzidenzen werden mit einer Anordnung der Szintillatoren gemessen, bei der keine Gerade existiert, die alle drei Szintillatoren miteinander verbindet.

Die Rate der zufälligen Koinzidenzen R_z errechnet sich aus den Einzelraten R_1, R_2, R_3 gemäß /11/ :

$$R_z = 3 T^2 R_1 R_2 R_3 ,$$

wobei T die Länge des Ausgangspulses eines Diskriminators bezeichnet. Hier gilt : $T = 150 \text{ nsec}$

Die zufälligen Koinzidenzen sind also unabhängig von der Diskrepanz zwischen gemessenen und berechneten Raten vernachlässigbar. In Kapitel 2 wird gezeigt, daß diese Diskrepanz von Teilchenschauern herrührt.

gut

4.7 Die Ausleseelektronik

Wie im Kapitel über die induzierte Auslese gezeigt wird, influenzieren Streamer in auf der Außenseite von Streamer-Tubes positionierten Elektroden positive Ladungen. Diese können über einen Auslewiderstand zur Erde abfließen und dienen so dem Nachweis der Streamer.

Bei den unten beschriebenen Messungen werden sogenannte Strips zur Auslese benutzt. Abb. 20 zeigt eine Einheit von 16 Strips zur Auslese der Signale auf der Oberseite einer Streamer-Tube. Die Strips bestehen aus 40 μm dickem Aluminium mit einer Breite von 4 mm, das über eine Länge von 470 mm auf eine 1 mm dicke PVC-Platte aufgewalzt ist. Sie haben einen Abstand von 10 mm und laufen parallel zu den Drähten. Auf der Rückseite der PVC Platte dient eine durchgehende Aluminiumfolie der Erdung.

Die Verbindung der Strips mit der Ausleseelektronik geschieht durch vier Steckerleisten, von denen jeweils zwei auf die Strips und zwei auf die unten beschriebene Karte gesteckt werden. Die entsprechenden Kontakte der Steckerleisten sind miteinander verlötet. Wegen der Dicke der Steckerleisten liegen die Strips dort nicht mehr auf dem Gehäuse der Streamer-Tubes auf. In dem Bereich, in dem sie über aktivem Gasvolumen verlaufen ist das jedoch der Fall.

Die Ausleseelektronik besteht aus folgenden Komponenten :

- a) Acht Karten vom Typ " MODEL 4200 STREAMER TUBE CARD "
aus dem Le Croy " STREAMER TUBE OPERATING SYSTEM "

Jede Karte besitzt 32 Eingänge zur Verarbeitung der Signale zweier nebeneinander liegender Streamer-Tubes (Abb. 21). Da bei dem hier benutzten Meßaufbau acht Streamer-Tubes untereinander angeordnet sind, werden von jeder Karte nur 16 Kanäle verwendet. Die Karten sind der obigen Beschreibung gemäß durch Steckerleisten mit den Strips verbunden.

Nach Herstellerangaben wird mittels eines Trimmers und einer Steuerspannung zwischen 0 V und 3 V eine für alle Kanäle der Karte gleiche Schwelle zwischen 30 μ A und 200 μ A eingestellt. Die Schwelle wird an einem Monitorausgang von einem Digitalvoltmeter überwacht. Übersteigt das Signal auf einem Strip diese Schwelle, so meldet der entsprechende Kanal der Karte diesen für eine Dauer von 500 nsec als gefeuert. Erhält die Karte währenddessen ein Auslesesignal vom Controller, so wird für jeden gefeuerten Kanal ein zugeordnetes Bit in einem 32-Bit-Schieberegister gesetzt.

b) Ein Controller vom Typ " MODEL 4700 STOS I CONTROLLER " aus dem Le Croy " STREAMER TUBE OPERATING SYSTEM "

Ein Trigger aus der Koinzidenzeinheit startet die Auslese der Karten durch den Controller (Abb. 22). Sie erfolgt über eine serielle Leitung, in der die Schieberegister der Karten in Reihe geschaltet sind. Hierdurch ist jedem Kanal eine Ordnungsnummer gegeben. Die Nummern der gefeuerten Kanäle werden von einem Mik 11/23 Rechner via CAMAC aus dem Controller gelesen. (4n)

c) Die Spannungsversorgung

Die Karten benötigen Versorgungsspannungen von + 5V und - 5V. Diese werden von gewöhnlichen Spannungsgeräten geliefert.

Die Spannung zur Einstellung der Ausleseschwelle, 0V ... 3V, stammt aus einer zu diesem Zwecke gebauten Versorgung. Ein eingebautes Digitalvoltmeter erlaubt die Überwachung dieser Steuer- und der anderen Versorgungsspannungen. Die Zuführung geschieht über Flachbandkabel.

d) Erdung

Die Ausleseelektronik weist Stripsignale in der Größenordnung weniger mV nach. Zur Unterdrückung von Störsignalen ist deshalb eine sorgfältige Erdung notwendig. Die Erdung durch die Massen der Kabel zur Hoch- und Versorgungs-Spannungszuführung reicht hierzu nicht aus. Das folgende Verfahren hat sich bewährt :

Ein Punkt des Gestells wird als gemeinsamer Massepunkt gewählt.

- Die Masseleitungen der Steckleisten zur Verbindung von Strips und Auslesekarten werden mit Hochfrequenzlitze verlötet und durch diese mit dem gemeinsamen Massepunkt verbunden.
- Die Massen des Hochspannungsgerätes und der Niederspannungsversorgungen werden durch Hochfrequenzlitze mit dem gemeinsamen Massepunkt verbunden.

vllt;

Der Erfolg dieses Verfahrens äußert sich so :

- Die Auslesekarten, die auch im selbsttriggernden Mode betrieben werden können, triggern nicht mehr mit Raten von mehreren kHz, sondern mit einer der kosmischen Myonen entsprechenden Rate.
- Die Auslesekarten werden nicht mehr mit der Rate von 36 kHz getriggert, die von den Regelvorgängen zur Stabilisierung der Hochspannung herrührt.

5.0 Diskussion des Auswerteverfahrens

Die unten beschriebenen Messungen werden mit kosmischen Myonen an acht Streamer-Tubes mit 128 Kanälen durchgeführt. Die Kanäle sind entsprechend der Auslese durch das STOS-System, wie in Abb. 23 gezeigt, von 1 bis 128 durchnummeriert.

§. 19

fehlt

Zwei wesentliche Meßgrößen sind die Nachweiswahrscheinlichkeit für den Durchgang eines Myons durch einen Kanal sowie die Anzahl von Strips, die dabei ein Signal liefern. Erstere wird im Folgenden als Efficiency und Letztere als Clustergröße bezeichnet. Die Efficiency eines Kanals e_k , der Index bezeichnet hier die laufende Nummer, ist durch folgendes Verhältnis definiert :

$$e_k = n_h(k)/n_t(k)$$

mit $n_t(k)$: Anzahl der Fälle, in denen ein Myon den Kanal k durchquert ; als Kanal wird hier nur das Gasvolumen, nicht aber die Wände bezeichnet

$n_h(k)$: Anzahl der Fälle, in denen der Strip über bzw. unter dem vom Myon durchquerten Kanal k ein Signal aufweist, das die Ausleseschwelle übersteigt

Die Clustergröße eines Kanals c_k ist gleich der mittleren Zahl der Kanäle, die beim Durchgang eines Myons zusammen mit Kanal k feuern.

5.1 Rekonstruktion der Teilchenbahn durch eine Geradenanpassung

Sowohl Efficiency als auch Clustergröße sollen für jeden Kanal bestimmt werden. Um das dazu durchgeführte Verfahren zu verstehen, wird zunächst ein typisches Ereignis betrachtet :

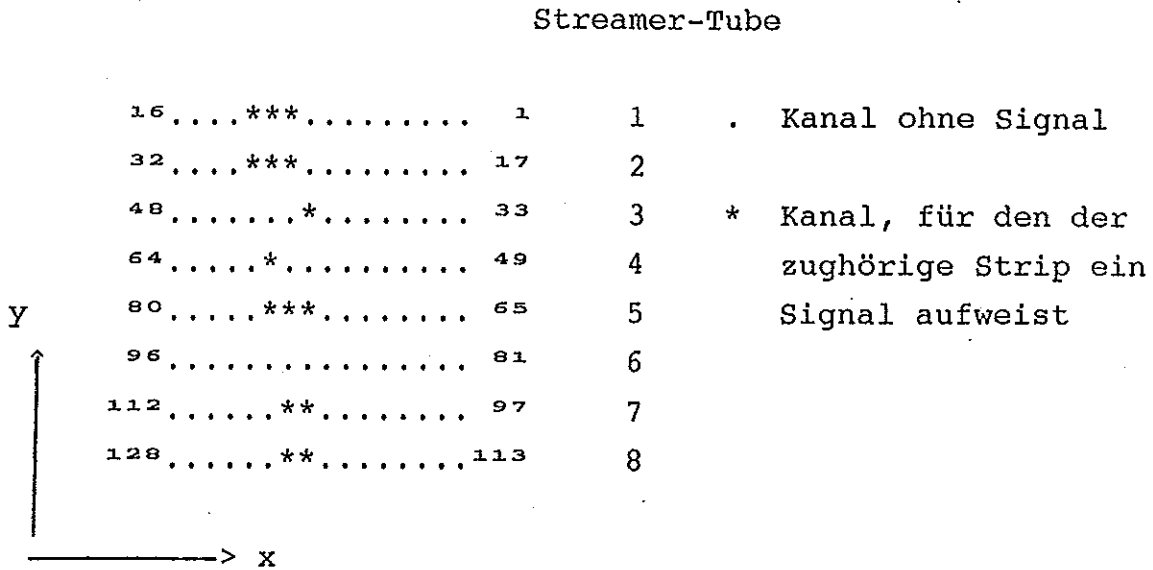


Abb. 23 typischer Durchgang eines Myons durch das Teleskop aus acht Streamer-Tubes; eingezeichnet ist auch das benutzte Koordinatensystem

Die einzelnen Kanäle der Streamer-Tubes erscheinen als " . " , falls sie kein Signal aufweisen, das die Schwelle der Ausleseelektronik übersteigt. Ist das Signal eines Strips genügend groß, so ist er als " * " dargestellt. Von Kanälen, die ein genügend großes Signal haben, wird im Folgenden auch gesagt, daß sie " gefeuert " haben. Die Darstellung in Abbildung (21) erfolgt aus Platzgründen verzerrt.

2

Bei diesem Ereignis fallen folgende Punkte auf :

- a) Das unten noch zu besprechende Monte-Carlo zeigt, daß unter Berücksichtigung der Geometrie des Versuchsaufbaus und der Winkelverteilung kosmischer Myonen in nur 1% aller Fälle die Spur eines Myons in einer Streamer-Tube durch zwei benachbarte Kanäle führt. Trotzdem feuern bei diesem Ereignis in fünf Streamer-Tubes mindestens zwei Kanäle. Dieses Verhalten drückt die im Kapitel über die induzierte Auslese gezeigte Breite der gemessenen Ladungsverteilung aus. (fj. 11.11)
- b) In der dritten Streamer-Tube würde man nach Augenschein ein Signal in Kanal 42 oder 43 erwarten. Gefeuert hat jedoch Kanal 41. Die Erklärung dafür ist, daß das Myon einen Streamer erzeugt, der aber nicht zu einem Signal in einem der erwarteten Kanäle führt, da die Auslese-elektronik für diese defekt ist.
- c) In der sechsten Streamer-Tube feuert kein einziger Kanal. Sie wird durch eine Karte mit intakten Kanälen ausgelesen. Deshalb verbleiben folgende Möglichkeiten zur Erklärung :
- die Spur des Myons verläuft durch eine Wand
 - aufgrund zu kleiner Spurlänge werden nicht genügend primäre Elektron-Ion-Paare erzeugt, um einen Streamer zu starten
 - der Streamer ist nicht groß genug, um auf dem entsprechenden Strip ein Signal zu erzeugen, das die Ausleseschwelle übersteigt

Das dargestellte Ereignis zeigt also, daß es nicht offensichtlich ist, welche Kanäle vom Myon durchquert werden. Im Folgenden wird ein Verfahren zur Rekonstruktion der Spur des Myons vorgestellt. Da die Streamer-Tubes nur mit parallel zu den Drähten orientierten Strips ausgelesen werden, kann tatsächlich nur die Projektion der Spur auf die Ebene senkrecht zu den Drähten bestimmt werden. Der Einfachheit halber wird aber weiterhin von der "Spur" gesprochen.

Die Streamer-Tubes messen die x-Koordinaten der Spur an Koordinaten y , die durch die Positionierung der Tubes festgelegt sind. Das hier benutzte Koordinatensystem ist in Abbildung (21) eingezeichnet.

Aus der Anzahl in einer Streamer-Tube gefeuerter Kanäle wird folgendermaßen auf die x-Koordinate geschlossen :

- Feuert nur ein Kanal, dann ist dieser vom Myon durchquert worden. Der Streamer ist nicht groß genug, um auch auf den Strips der Nachbarkanäle zum Nachweis ausreichende Ladungen zu induzieren. Der Erwartungswert der x-Koordinate der Spur ist durch die x-Koordinate des Drahtes dieses Kanals gegeben. Der Fehler bei dieser Annahme ist durch das Intervall gegeben, in dem die x-Koordinate variieren kann, also 9 mm. Die Varianz einer Gleichverteilung dieser Breite beträgt $81 \text{ mm}^2/12$.
- Feuern zwei benachbarte Kanäle einer Streamer-Tube, so kann unter alleiniger Beachtung dieser Streamer-Tube nicht entschieden werden, welcher der beiden Kanäle durchquert wurde. Folgende Annahme ist aber plausibel. Die Spur des Teilchens führt zwischen den beiden Drähten der Kanäle her. Deshalb orientiert sich der Streamer in Richtung der Wand zwischen diesen Kanälen und induziert eine Ladungsverteilung mit dem Schwerpunkt zwi-

- schen den Strips über diesen Kanälen (Abb. 24). Die x-Koordinate der Spur ist dann durch den Mittelpunkt der Verbindungslinie zwischen den Drähten gegeben, die Varianz beträgt auch hier $81 \text{ mm}^2/12$.
- Falls drei benachbarte Kanäle einer Streamer-Tube feuern, so hat die Spur den mittleren durchquert. In diesem Fall ist der Streamer so groß, daß die influenzierte Ladungsverteilung auch noch auf den Nachbarstrips nachgewiesen wird. Die x-Koordinate der Spur ist durch diejenige des mittleren Drahtes gegeben, die Varianz beträgt $81 \text{ mm}^2/12$.
 - Streamer-Tubes, in denen mehr als drei Kanäle feuern, werden nicht berücksichtigt, da sie in der Minderzahl sind und hier nicht mehr offensichtliche Annahmen über Orientierung und Größe des Streamers gemacht werden können.

Die Zulässigkeit der Annahmen wird im Kapitel über die Ortsauflösung bestätigt. Ein gegebenes Ereignis wird nun auf folgende Weise zur Untersuchung der Kanäle herangezogen :

Für jede Streamer-Tube wird der vom Myon durchquerte Kanal k bestimmt. Das geschieht durch eine ausgleichende Gerade, die durch die von den übrigen Streamer-Tubes gemessenen Koordinaten festgelegt wird. Die Meßpunkte der dritten Streamer-Tube werden nicht zur Rekonstruktion benutzt, da die zugehörige Auslesekarte tote Kanäle aufweist. Somit verbleiben unter Weglassung der untersuchten Streamer-Tube maximal sechs. Die Spurrekonstruktion wird nur durchgeführt, falls mindestens vier Streamer-Tubes dazu benutzt werden können.

Die ausgleichende Gerade wird nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet. Die Anpassung wird als zulässig betrachtet, falls die ausgleichende Gerade in allen Streamer-Tubes, die zu deren Bestimmung herangezogen werden, einen gefeuerten Kanal durchquert.

Rekonstruierte Spuren, die in der untersuchten Ebene durch eine Wand und nicht durch Gas laufen, werden nicht zur Bestimmung der Efficiency der Kanäle benutzt. Das bedeutet, daß die angegebenen Efficiencies vom geometrischen Beitrag durch die Wände bereinigt sind.

Sei k die Nummer eines gemäß Rekonstruktion vom Myon durchquerten Kanals. Für die Bestimmung der Efficiency wird $n_e(k)$ um eins erhöht. Ist dieser Kanal gefeuert, so wird auch $n_n(k)$ erhöht. Die Clustergröße des untersuchten Kanals wird in ein Histogramm eingetragen, aus dem nach Beendigung der Messung Mittelwert und Varianz bestimmt werden.

5.2 Untersuchung der Genauigkeit des Rekonstruktionsverfahrens

Im Folgenden wird untersucht, ob das angewendete Rekonstruktionsverfahren für beliebige Spuren von Myonen immer die von diesen durchquerten Kanäle bestimmt. Das geschieht mittels eines Monte-Carlo Programms. Hier werden Zufallsspuren gemäß der Winkelverteilung kosmischer Myonen erzeugt, die alle drei Szintillatoren passieren. Bei gegebener Geometrie der Meßapparatur werden diejenigen Kanäle bestimmt, die von der Spur durchquert werden. Nur diese Kanäle werden gesetzt. Nachbarkanäle, die in realen Ereignissen auch feuern können, werden nicht gesetzt. Ein typisches Monte-Carlo Ereignis hat folgende Gestalt :

Streamer-Tube

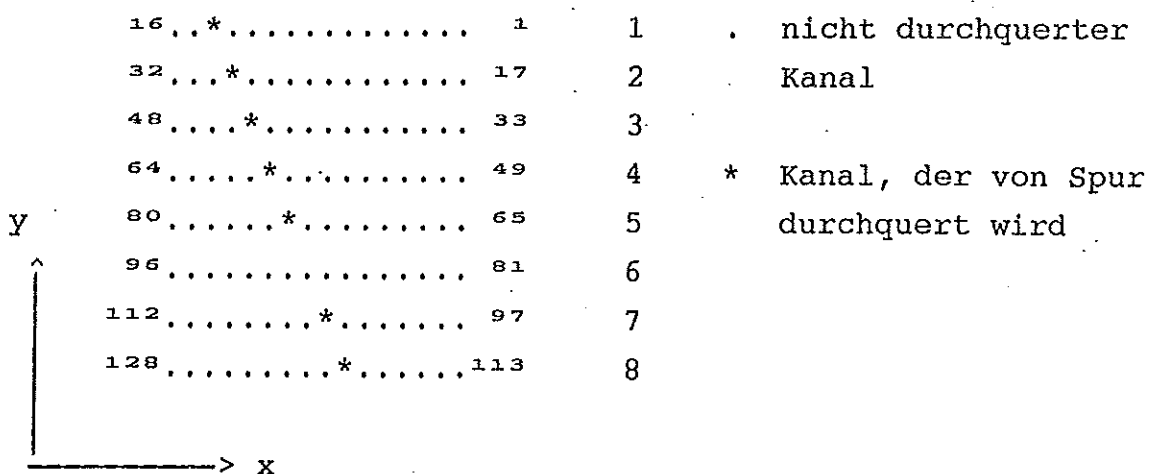


Abb. 25 typisches Monte-Carlo Ereignis

In der sechsten Streamer-Tube durchquert die Spur den Bereich zwischen den Profilen. Dort ist kein aktives Gasvolumen.

Danach wird für jede Streamer-Tube unter alleiniger Verwendung der gefeuerten Kanäle in den anderen Streamer-Tubes die x-Koordinate der rekonstruierten Spur berechnet. Die "gemessene" x-Koordinate ergibt sich wie oben aus den in der untersuchten Ebene gefeuerten Kanälen. In den Abbildungen 26, 27 und 28 sind die Häufigkeiten dargestellt, mit denen Abweichungen von rekonstruierter und gemessener x-Koordinate auftreten. Hier sind auch die Fälle unterschieden, daß vier, fünf oder sechs Streamer-Tubes für die Rekonstruktion benutzt werden.

Die Standardabweichungen dieser Verteilungen sind ein Maß für den Fehler der Ortsbestimmung und sind in Tabelle 5 aufgeführt :

Tabelle 5 : Standardabweichungen der Verteilungen der Differenz von tatsächlicher und rekonstruierter Koordinate der Teilchenspur in Abhängigkeit von der Anzahl benutzter Streamer Tubes *PlC*

Zahl der Tubes	Standardabweichung [mm]
4	1.55
5	1.53
6	1.46

Man erkennt, daß der Fehler der Ortsbestimmung mit wachsender Zahl der Streamer-Tubes abnimmt. Er ist aber in allen Fällen größer als die Dicke der Wände zwischen zwei Kanälen , 1 mm, und kann dazu führen, daß der Durchgang durch einen falschen Kanal vorausgesagt wird. Das verringert die gemessene Efficiency. Dieser Effekt wird von *gut* Abbildung 29 verdeutlicht. Dort sind die mittels Monte-Carlo Ereignissen bestimmten Efficiencies für die Kanäle des Streamer-Tube-Systems aufgetragen.

Würde das Rekonstruktionsprogramm immer die richtigen von der Spur durchquerten Kanäle nennen, erhielte man für alle Kanäle eine Efficiency von 100%. Die Abweichungen von diesem Wert schwanken als Funktion der Kanalnummer und sind für Kanäle in der Mitte der Streamer-Tubes und am Rand besonders groß. Dieser durch das Rekonstruktionsverfahren eingeführte systematische Fehler muß bei der Analyse realer Ereignisse berücksichtigt werden.

Für reale Ereignisse ist zusätzlich zu beachten, daß im Mittel zwischen zwei und drei benachbarte Kanäle beim Durchgang eines Myons durch eine Streamer-Tube feuern. In solchen Fällen kann es vorkommen, daß der Durchgang der Teilchenspur durch einen falschen Kanal vorhergesagt wird, dieser aber aufgrund des Überspreches tatsächlich ein Signal liefert. Hier würden für einen nicht getroffenen Kanal Trigger und Treffer hochgezählt werden. Dieser Effekt ist im bisherigen Monte-Carlo nicht berücksichtigt.

Abb. 30 zeigt die Efficiencies, wie sie sich für eine Messung mit realen Ereignissen ergeben. Die Kanäle der dritten Ebene sind wegen der defekten Ausleseelektronik nicht eingetragen. Auch hier weisen die Kanäle in der Mitte der Streamer-Tubes und am Rand einen Einfall auf. Das ist der schon im Monte-Carlo auftretende systematische Fehler. Dieser wird auf folgende Weise korrigiert :

Für jeden Kanal k wird ein Korrekturfaktor c_k berechnet :

$$c_k = 100 / e_{k(MC)}$$

$e_{k(MC)}$ ist hierbei die im Monte-Carlo berechnete Efficiency für Kanal k . Multipliziert man die Monte-Carlo-Efficiencies mit diesen Korrekturfaktoren, so erhält man für jeden Kanal eine Efficiency von 100%, wie es sein sollte. Mit den gleichen Faktoren werden auch die gemessenen Efficiencies multipliziert. Die sich daraus ergebenden Werte sind in Abb. 31 dargestellt.

Faktor

Man erkennt, daß die Einfälle der Efficiencies in der Mitte und am Rand der Streamer-Tubes jetzt weniger groß aber noch immer vorhanden sind. Zusätzlich gibt es Kanäle, die jetzt größere Efficiencies als 100% aufweisen. Das bedeutet, daß die Korrekturfaktoren nicht ganz richtig sind. Hierfür kann es folgende Gründe geben. Erstens die Nichtberücksichtigung des Übersprechens und zweitens Fehler beim Vermessen des Meßaufbaus. Diesen Vermutungen wird hier aber nicht weiter nachgegangen, da sich ein Verfahren zur Bestimmung der Efficiencies findet, das ohne zusätzliche Korrekturen arbeitet.

5.3 Bestimmung der Efficiencies ohne Korrekturfaktoren

Aufgrund der oben angesprochenen Mängel wird das in diesem Kapitel besprochene Verfahren zur Bestimmung der Efficiencies benutzt. Auch hier wird die Spur eines Myons durch die Streamer-Tubes verfolgt, allerdings ohne eine Geradenanpassung. Das Verfahren funktioniert jedoch nur für solche Spuren, für die das Myon in allen Streamer-Tubes den gleichen Kanal durchquert. Zur Erklärung seien einige Ereignisse vorangestellt :

```

.....*** .**..... .***.....
.....*** .....***.....
.....* .*. *.....***.....
.....*** ***.....**.....
.....*** ***.....****.....
.....*** ***.....***.....
.....*** ***.....***.....
.....** ***.....***.....

```



```

.....***** .....**** .....***.....
.....***. ....** .....**.....
.....*.. .....*.. .....**.....
.....****. ....** .....**.....
.....****. ....**** .....*****.....
.....***. ....** .....**.....
.....***. ....** .....**.....
.....***. ....** .....**.....

```

Diese Ereignisse zeichnen sich dadurch aus, daß es mindestens vier Streamer-Tubes gibt, die folgenden Bedingungen genügen:

- es feuern ein oder drei benachbarte Kanäle
- die mittleren Kanäle der Streamer-Tubes mit drei Hits und die Kanäle der Streamer-Tubes mit nur einem Hit liegen in einer Spalte

Dem Augenschein nach ist es plausibel anzunehmen, daß die Spur des Myons durch die mittleren Kanäle der ausgesuchten Streamer-Tubes führt. Hier wird keine Aussage über den genauen Verlauf der Spur mehr gemacht. Das ist aber auch nicht notwendig, da zur Bestimmung der Efficiency nur die vom Myon durchquerten Kanäle bekannt sein müssen.

Ein Beweis dafür, daß dieses Verfahren immer die richtigen Kanäle liefert, kann nicht gegeben werden. Das Verfahren wird aber neben der Plausibilität auch deshalb benutzt, weil es vernünftige Ergebnisse liefert.

Die Efficiencies werden nun folgendermaßen berechnet :

Für jede Streamer-Tube wird unter alleiniger Beachtung der anderen Streamer-Tubes der vom Myon durchquerte Kanal bestimmt. Der entsprechende Kanal erhält aber nur dann einen Trigger, falls sowohl in einer Streamer-Tube ober- als auch unterhalb der untersuchten Streamer-Tube der gleiche Kanal durchquert wurde. Für den untersuchten Kanal wird ein Treffer gezählt, falls der zugehörige Strip feuert.

Die zusätzliche Forderung, daß auch Streamer-Tubes ober- und unterhalb der untersuchten Streamer-Tube Treffer im richtigen Kanal aufweisen müssen, schließt allerdings die Untersuchung der Kanäle der obersten und untersten Streamer-Tube aus. Diese Forderung muß aber erhoben werden, wenn man folgendes Ereignis betrachtet :

```
.....  
.....  
.....***.....  
.....***.....  
.....*.....  
.....***.....  
.....***.....  
.....*.....
```

Auch für dieses Beispiel ist der vom Myon durchquerte Kanal offensichtlich. Die beiden obersten Streamer-Tubes zeigen dort aber keine Treffer. Ein möglicher Grund kann darin bestehen, daß die Spur dort durch eine Wand läuft. Natürlich kann es auch sein, daß die entsprechenden Kanäle in diesem Fall ineffizient sind.

Da aber nicht bekannt ist, welcher Grund zutrifft, wird dieses Ereignis nur zur Untersuchung der restlichen Ebenen herangezogen.

5.4 Spurlängenverteilung der Teilchenbahnen

Das oben beschriebene Programm zur Simulation des Durchgangs von Teilchen durch die Meßapparatur erlaubt auch die Berechnung der Spurlängen der Teilchenbahnen in den einzelnen Kanälen. Als Spurlänge wird hier die Länge der Strecke bezeichnet, die in einem Kanal durch Gasvolumen führt. Abbildung 32 zeigt die errechnete Spurlängenverteilung. Das Maximum der Häufigkeit liegt bei 9 mm. Das entspricht Teilchenbahnen, die auf der Oberseite in einen Kanal eintreten und diesen auf der Unterseite wieder verlassen. Es gibt aber auch Spurlängen von weniger als einem Millimeter. Diese entsprechen solchen Bahnen, wie sie Abbildung 33 zeigt.

Je kürzer die Spurlänge im Gasvolumen ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, daß ein Teilchen ein Elektron-Ion-Paar erzeugt. Im hier benutzten Gasgemisch Ar / Isobutan im Verhältnis 1 / 3 werden pro cm Spurlänge 41.8 Elektron-Ion-Paare erzeugt /3/. Dieses ist ein statistischer Mittelwert. Auf 1 mm Weg in diesem Gas werden also im Mittel nur 4.2 Paare erzeugt. Die Verteilung der Anzahl erzeugter Elektron-Ion-Paare auf 1 mm wird durch eine Poissonverteilung mit Mittelwert 4.2 beschrieben. Daraus folgt, daß in 1.5% der Fälle, in denen die Spurlänge 1 mm beträgt kein einziges Elektron-Ion-Paar erzeugt wird. In diesen Fällen kann der Teilchendurchgang nicht bemerkt werden. In Abbildung 34 ist die Verteilung der primär erzeugten Elektron-Ion-Paare dargestellt. Diese ergibt sich aus der Spurlängenverteilung, indem die jede Spurlänge gegebene Verteilung erzeugter Paare addiert wird. Hierbei werden die verschiedenen Verteilungen mit der Häufigkeit, mit der die entsprechenden Spuren vorkommen, gewichtet. Sind zum Beispiel für die Erzeugung eines Streamers mindestens vier Paare notwen-

dig, so wird der Durchgang eines Teilchens nur noch in 99.2% aller Fälle nachgewiesen. Abbildung 35 zeigt die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Mindestzahl von primären Elektron-Ion-Paaren erzeugt wird. 2.156

6 Resultate der Messungen

6.1 Streamer-Tubes mit Deckel

Die folgenden Ergebnisse gelten für Streamer-Tubes, deren Profile mit einem Deckel verschlossen sind. Der Oberflächenwiderstand des Deckels beträgt $1 \text{ M}\Omega / \square$

6.1.1 Auslese auf der Oberseite

In diesem Kapitel wird das Verhalten der Streamer-Tubes bei der Auslese durch Strips auf der Oberseite beschrieben. Die Strips laufen parallel zu den Drähten. *Strips*

Zunächst sind einige Bemerkungen zur Berechnung des Mittelwertes der Efficiency und dessen Fehler notwendig. Dazu sind in den Abbildungen 36 und 37 die Hochspannungskurven für die einzelnen Kanäle zweier beliebiger Profile dargestellt. Für jede Hochspannung sind nur sieben anstelle von acht Kanälen eingetragen, da jeweils der äußere Kanal jedes Profils keine Trigger erhält. Die gewählte Ausleseschwelle STOS : 15 mV ist für die Betrachtungen ohne Bedeutung.

Wird ein Kanal k in t Fällen von einem Teilchen durchquert, und weist er in h Fällen ein Signal auf, dann hat er eine Efficiency e_k gemäß

$$e_k = h / t \pm (e_k (1 - e_k) t^{-1})^{0.5}$$

Der Fehler σ_k ist durch die Streuung einer Binominalverteilung mit Erwartungswert e_k gegeben.

Der Mittelwert e_m der Efficiencies der Kanäle eines Profils wird nach folgender Beziehung berechnet :

$$e_m = \Sigma e_k / i \pm 1 / (\Sigma \sigma_k^{-2})^{0.5}$$

i : Anzahl der Kanäle

Hier ist nur der statistische Fehler angegeben, welcher von einer endlichen Zahl von Messungen herrührt und im Prinzip beliebig klein gemacht werden kann. Die in χ^2 definierte Größe χ^2 ist ein Maß dafür, ob die einzelnen Werte e_k statistisch um e_m schwanken :

$$\chi^2 = \Sigma (e_k - e_m)^2 \sigma_k^{-2}$$

Der Erwartungswert von χ^2 beträgt für i Meßwerte :

$$\langle \chi^2 \rangle = i - 1$$

Ist χ^2 für eine gegebene Menge von Meßwerten kleiner oder ungefähr gleich diesem Erwartungswert, dann schwanken die Werte e_k statistisch um den Mittelwert e_m . Tabelle 6 zeigt die entsprechenden Daten für die Profile 7 und 12 aus den Abbildungen 36 und 37 :

Tabelle 6: Mittelwert der Efficiency e_m , dessen statistischer Fehler σ_m und χ^2 der Profile 7 , 12 für die Hochspannungen HV = 4600 V und 4850 V

HV	4600 V			4850 V		
	e_m	σ_m	χ^2	e_m	σ_m	χ^2
Profil						
7	92.6%	0.7%	106.2	98.4%	0.35%	11.8
12	97.9%	0.5%	7.59			

Tabelle 6 zeigt, daß die Werte von Profil 7 bei HV = 4600 V nicht statistisch um ihren Mittelwert schwanken, da $106.2 \gg 6 = 7 - 1$. Das wird als systematischer Fehler bezeichnet und drückt aus, daß die einzelnen Kanäle nicht identisch sind. Da der systematische Fehler zu größeren Schwankungen als der statistische führt, wird im Folgenden, soweit nicht anders bemerkt, nur noch ersterer als Fehler des Mittelwertes aufgeführt. Der systematische Fehler σ_{sys} ist durch folgende Beziehung gegeben / 10 / :

$$\sigma_{sys} = \sigma_m \left(\text{Chi}^2 / (i - 1) \right)^{0.5}$$

Für Profil 7 ergibt sich im obigen Fall $\sigma_{sys} = 4.2 \sigma_m$.

6.1.1.1 Efficiency und Clustergröße als Funktion der Hochspannung und der Ausleseschwelle

Abb. 38 zeigt die Hochspannungskurven für drei verschiedene Ausleseschwellen. Dort ist für jede Hochspannung über alle Kanäle der Streamer-Tubes gemittelt; nur die systematischen Fehler sind eingezeichnet. Die Meßpunkte ohne Fehlerbalken haben Fehler, die kleiner als die benutzten Symbole sind.

Die Efficiency nimmt erwartungsgemäß mit wachsender Hochspannung zu und wachsender Ausleseschwelle ab. Die relativ großen Fehler für STOS = 250 mV und STOS = 500 mV bei HV = 4600 V und HV = 4650 V zeigen wieder die große Streuung im Verhalten der Kanäle. Die Streuung bzw. der systematische Fehler nimmt jedoch mit wachsender Hochspannung ab. Das bedeutet, daß die einzelnen Kanäle unterschiedlich große Signale auf den Strips influenzieren. Mit wachsender Hochspannung wachsen aber auch die Signale, und in immer mehr Kanälen erzeugen die Streamer immer häufiger Signale, die die Ausleseschwelle übersteigen. Die unterschiedlichen Signalgrößen können z.B. von verschieden großen elektrischen Fel-

dern in den Kanälen herrühren, die von Abweichungen des Drahtes von der Sollposition verursacht werden.

um Zeit ?
dual -
zyklisch

Für HV = 4850 V liegt nur ein Meßpunkt vor, da bei dieser Hochspannung nicht mehr alle Streamer-Tubes stabil arbeiten. Hier treten gelegentlich Dauerentladungen auf, die über längere Zeit andauernd, zur Zerstörung der Streamer-Tubes führen. Die bei dieser Spannung gemessene Efficiency beträgt bei der niedrigsten Ausleseschwelle :

$$e_m = 99.2\% \pm$$

$$\text{für STOS} = 15 \text{ mV}$$

Die zur 100%-igen Nachweiswahrscheinlichkeit fehlenden 0.8% könnten noch durch weiteres Erhöhen der Hochspannung erreicht werden, da die Hochspannungskurve einen leichten Anstieg zeigt. Für die verbleibende Ineffizienz von 0.8% gibt es drei mögliche Ursachen :

- Eine Ineffizienz bei der Erzeugung des Streamers :

Es muß eine Mindestzahl n_{\min} von primären Elektron-Ion-Paaren erzeugt werden, um einen Streamer auszulösen.

Eine Monte-Carlo Simulation ergibt, daß für 0.8% aller Spuren in einem Kanal weniger als vier primäre e-Ion-Paare erzeugt werden, also $n_{\min} = 4$.

- zu kleine Signale auf den Strips

Die von den Streamern auf den Strips influenzierten Signale haben keine feste Größe. Es gibt auch solche, die die niedrigste Ausleseschwelle nicht übersteigen.

- Fehler bei der Auswahl der Ereignisse

Das Verfahren, das diejenigen Ereignisse auswählt, in denen die durchquerten Kanäle bekannt sind, ist fehlerhaft. In 0.8% aller Fälle wird der Durchgang eines Teilchens durch Gasvolumen angenommen, obwohl das Teilchen eine Wand durchquert.

Die beiden zuerst genannten Möglichkeiten führen bei einer Erhöhung der Hochspannung zur Abnahme der Ineffizienz, während die dritte von der Hochspannung unabhängig ist. Da die Hochspannungskurve leicht ansteigt, sind die ersten Möglichkeiten wahrscheinlicher. *gut*

Abb.39 zeigt für die Kanäle der Profile 7 und 12 die mittlere Clustergröße als Funktion der Hochspannung HV bei der niedrigsten Ausleseschwelle STOS = 15 mV. Genauso wie die Efficiency, so wächst auch die Clustergröße mit steigender Hochspannung. Die Clustergröße ist ein Maß für die Größe des Streamers und zeigt, daß die Signalgröße mit wachsender Hochspannung zunimmt. Der Vergleich der beiden Profile zeigt weiter, daß die Kanäle mit größerer Efficiency auch eine größere Clustergröße haben. Daraus folgt, daß das Anwachsen der Efficiency durch das Anwachsen der Signale geschieht, die verbleibende Ineffizienz bei 4850 V also durch die Ausleseschwelle bedingt ist. Diese kann jedoch nicht kleiner gewählt werden.

Abb.40 zeigt die Abhängigkeit der Clustergröße von der Hochspannung für drei Ausleseschwellen. Hier ist über alle Kanäle bis auf diejenigen der dritten Streamer-Tube gemittelt. Diese wird wegen der toten Kanäle der Ausleseelektronik, welche natürlich die Clustergröße beeinflussen, nicht berücksichtigt. Die Clustergröße wächst mit steigender Hochspannung und nimmt mit wachsender Ausleseschwelle STOS ab. Dieses Verhalten entspricht der Erwartung.

Für eine gute Ortsmessung durch Streamer-Tubes ist eine niedrige Clustergröße c_m notwendig. Im Idealfall feuert beim Durchgang eines Teilchens durch einen Kanal nur der über diesem verlaufende Strip, d.h. $c_m = 1$, und jeder Teilchendurchgang wird nachgewiesen. Ein Vergleich der Abbildungen 38 und 40 zeigt, daß sich zwar durch Erhöhen der Ausleseschwelle die Clustergröße immer weiter erniedrigen läßt, gleichzeitig aber die Efficiency abnimmt. Eine genaue Ortsmessung und eine hohe Nachweiswahrscheinlichkeit sind also widersprüchliche Anforderungen an die hier untersuchten Streamer-Tubes.

Die Ursache für dieses ungünstige Verhalten liegt in der induzierten Auslese und in den Eigenschaften des Streamer-Mode. In Kapitel 3.5 ist gezeigt worden, daß ein Streamer nicht nur auf dem darüber liegenden Strip, sondern auch auf den benachbarten Strips Ladungen induziert. Die Größe der induzierten Ladung und deren räumliche Ausdehnung hängt neben der Größe des Streamers auch vom Widerstand des Deckels bzw. des Profils ab. Da die Streamergröße statistischen Schwankungen unterliegt, muß die Ausleseschwelle so niedrig eingestellt werden, daß auch die kleinsten Signale nachgewiesen werden. Ist die Schwelle entsprechend niedrig, dann feuern aber im Falle größerer Streamer auch die Nachbarkanäle. Beim Betrieb der Streamer-Tubes muß also ein Kompromiß zwischen einer guten Ortsauflösung und einer hohen Nachweiswahrscheinlichkeit geschlossen werden.

Im Folgenden wird der Einfluß der Ausleseschwelle auf Efficiency und Clustergröße noch etwas genauer untersucht. Abb. 41 zeigt für zwei Beispielp Profile die Efficiency als Funktion der Ausleseschwelle STOS bei einer festen Hochspannung $HV = 4750$ V. Diese Hochspannung wird gewählt, da hier noch alle Streamer-Tubes stabil laufen und keine Gefahr der Zerstörung besteht. Die beiden Profile unter-

scheiden sich weiter in ihrem Verhalten : Die Efficiencies der Kanäle von Profil 12 fallen weniger stark mit wachsender Schwelle als diejenigen von Profil 7. Parallel dazu werden auch die Clustergrößen kleiner, wobei diejenigen von Profil 12 im Mittel um ungefähr 0.4 größer sind als jene von Profil 7, Abb.42 . Die Korrelation von Efficiency und Clustergröße bleibt also bestehen. gründ?

In Abbildung 43 sind die über alle Kanäle der Streamer-Tubes gemittelten Efficiencies und Clustergrößen als Funktion der Ausleseschwelle dargestellt. Bei den Clustergrößen werden weiterhin, wie auch für die folgenden Messungen, die Kanäle der dritten Streamer-Tube nicht berücksichtigt, die durch eine Karte mit defekten Kanälen ausgelesen wird. Die Efficiencies für die Ausleseschwelle im Bereich von $STOS = 15 \text{ mV}$ bis $STOS = 250 \text{ mV}$ sind mit einem konstanten Wert von $e = 98.5\% \pm 0.1\%$ verträglich. Das heißt, daß die Variation der Schwelle in diesem Intervall zu keiner signifikanten Änderung der Efficiency führt. Die mittlere Clustergröße liegt aber bei $STOS = 250 \text{ mV}$ noch immer über 2 und ist unbefriedigend groß. Ein akzeptables Verhalten wird erst für eine Ausleseschwelle von $STOS > 450 \text{ mV}$ erreicht. Die Clustergröße ist dann kleiner als 1.5 und die Efficiency liegt bei ungefähr 97%.

6.1.1.2 Abhängigkeit der Clustergröße vom Kanal

In Abb. 39 ~~siehe weiter oben~~, sind die Clustergrößen für die Kanäle zweier Beispielp Profile dargestellt. Für alle Hochspannungen hat in beiden Fällen immer der gleiche Kanal eine niedrigere Clustergröße als die übrigen. Es handelt sich dabei um den Kanal 8 bzw. Kanal 9. Das sind die Kanäle in der Mitte einer Streamer-Tube, Abb.44 . Für dieses Verhalten gibt es folgende Erklärung :

Ein Streamer in Kanal 8 induziert nicht nur auf dem direkt darüber liegenden sondern auch auf den benachbarten Strips 7,9 Ladungen. Kanal 9 ist aber ungefähr 2 mm weiter von Kanal 8 entfernt als Kanal 7, da ersterer zur benachbarten Streamer-Tube gehört. Entsprechend hat auch der zu Kanal 9 gehörige Strip einen größeren Abstand. Das bedeutet, daß bei einem Streamer in Kanal 8 auf dem Strip von Kanal 9 weniger Ladung induziert wird als auf dem von Kanal 7 und ersterer deshalb nicht so häufig feuert wie letzterer. Für die Kanäle eines Profils, die nicht am Rand liegen, sind die Strips der beiden Nachbarkanäle gleich weit entfernt und auf diesen wird die gleiche Ladung induziert. Diese Kanäle zeigen deshalb eine höhere Clustergröße. *gut*

Streng genommen, muß bei der obigen Betrachtung noch die Orientierung des Streamers beachtet werden. Ist ein Streamer in Kanal 8 in Richtung auf Kanal 9 orientiert, so kann auf dem Strip von Kanal 9 mehr Ladung induziert werden als auf dem von Kanal 7. Da der Streamer aber jede Orientierung annehmen kann, gibt es auch die Fälle, in denen er in Richtung auf Kanal 7 orientiert ist und dort mehr Ladung induziert. Die Orientierung des Streamers in Kanal 8 ändert also im Mittel nichts daran, daß auf dem Strip von Kanal 9 weniger Ladung induziert wird als auf dem von Kanal 7. Die hier durchgeführten Überlegungen gelten entsprechend für Streamer in Kanal 9.

Aufgrund der Symmetrie einer Streamer-Tube gibt es für jeden Kanal eines Profils einen äquivalenten Kanal im anderen Profil. Es entsprechen sich folgende Kanäle :

Kanal	und	Kanal
1		16
2		15
3		14
4		13
5		12
6		11
7		10
8		9

Jedes Paar wird für die nun durchgeführten Betrachtungen als ein Kanal behandelt und mit der kleineren der beiden Kanalnummern bezeichnet. In Abb.45 sind die mittleren Clustergrößen aufgetragen, die man erhält, wenn man über die entsprechenden Paare der Streamer-Tubes 2,4,5,6 und 7 für drei Ausleseschwellen mittelt. Streamer-Tube 3 wird aufgrund der Auslekarte mit defekten Kanälen nicht zur Bestimmung der Clustergröße herangezogen. In allen Fällen zeigen die Kanäle von Paar 8 eine kleinere Clustergröße als die der anderen Paare. Das Verhältnis dieser Größen hängt von der Schwelle STOS ab, wie Abb.46 zeigt. Dort ist das Verhältnis der Clustergröße von Paar 8 zu derjenigen aufgetragen, die sich aus der Mittelung über die übrigen Paare ergibt.

Die Abhängigkeit dieses Verhältnisses von der Ausleseschwelle wird durch eine Parabel parametrisiert. Diese Form der Abhängigkeit kann nicht erklärt werden. Der Anstieg des Verhältnisses gegen 1 mit steigender Schwelle ist jedoch verständlich, da mit steigender Schwelle die Clustergröße jedes Kanals gegen 1 geht.

In Abb.47 ist das gleiche Verhältnis wie zuvor bei fester Ausleseschwelle $STOS = 15 \text{ mV}$ als Funktion der Hochspannung dargestellt. In diesem Fall zeigt sich keine Abhängigkeit von der Hochspannung. Die Clustergröße der beiden mittleren Kanäle ist im Mittel um den Faktor 0.92 ± 0.02 niedriger als die der übrigen Kanäle. Das Fehlen einer Abhängigkeit des Verhältnisses von der Hochspannung entspricht hier der Erwartung. In jedem Kanal wächst die Größe des Streamers mit der gleichen Abhängigkeit von der Hochspannung. Da die Clustergröße eines Kanals proportional zur Größe des Streamers ist, wächst sie entsprechend, am Verhältnis der Clustergrößen ändert sich nichts.

Die hier durchgeführten Betrachtungen zeigen, daß eine Abhängigkeit der Clustergröße vom Kanal besteht, in dem ein Teilchen einen Streamer erzeugt. Dieser Effekt führt zu Nichtlinearitäten, falls die Energiebestimmung von Teilchenschauern durch Zählen der gefeuerten Kanäle in Streamer-Tube-Kalorimetern geschieht.

jet

6.1.1.3 Abhängigkeit der Eigenschaften der Profile vom Oberflächenwiderstand

In allen Fällen, in denen die Eigenschaften der beliebig ausgewählten Profile 7 und 12 bisher miteinander verglichen wurden, zeigten diese im Mittel ein unterschiedliches Verhalten. Der einzig bekannte Parameter, in dem sich die Profile unterscheiden, ist deren Oberflächenwiderstand. Aus diesem Grund wird hier die Abhängigkeit der Efficiency und Clustergröße eines Profils von dessen Oberflächenwiderstand untersucht. (Tab. 2, S. 19)

In Abb. 48 und 49 sind für die Hochspannungen $HV = 4600 \text{ V}$ und $HV = 4850 \text{ V}$ bei niedrigster Ausleseschwelle $STOS = 15 \text{ mV}$ die jeweils über die Kanäle eines Profils gemittelten Efficiencies gegen die mittleren Widerstände der Profile aufgetragen. Abb. 50 zeigt die relative Clustergröße eines Profils für $STOS = 15 \text{ mV}$ als Funktion des Oberflächenwiderstandes. In dieser Darstellung ist zur Verbesserung der Statistik über die Hochspannungen von 4600 V bis 4850 V gemittelt, da die relative Clustergröße im Rahmen der Fehler keine Abhängigkeit von der Hochspannung zeigt. Als relative Clustergröße wird hier das Verhältnis aus der mittleren Clustergröße der Kanäle eines Profils und der mittleren Clustergröße aller Kanäle der Streamer-Tubes bezeichnet. Alle Abbildungen deuten eine leichte Abhängigkeit der Größen vom Oberflächenwiderstand an: Efficiency und Clustergröße scheinen mit wachsendem Widerstand abzunehmen. Da die entsprechenden Darstellungen für die Auslese der Streamer-Tubes auf der Oberseite gelten, erwartet man zunächst keine Abhängigkeiten, da die Signale in diesem Fall für alle Profile durch einen Deckel mit gleichem Oberflächenwiderstand ausgelesen werden.

ab HV
abhängig
rel. will
abhängig

Abb. 36 zeigt auch, daß es Kanäle mit großer Efficiency gibt, obwohl das Profil einen großen Oberflächenwiderstand hat. Hierfür könnte ein inhomogener Oberflächenwiderstand verantwortlich sein, der von Kanal zu Kanal schwankt. Um diese Vermutung zu überprüfen, werden für eine Streamer-Tube nach Beendigung aller Messungen die Widerstände der einzelnen Kanäle bestimmt. Die Reproduzierbarkeit der Widerstandsmessung wird überprüft, indem noch einmal die über die Profile gemittelten Widerstände mit denen verglichen werden, die beim Bau der Streamer-Tube gemessen wurden.

Hier zeigt sich eine unerwartete Diskrepanz. Tabelle 7 zeigt die mittleren Oberflächenwiderstände der Profile 7 und 8, die in einem zeitlichen Abstand von ungefähr 10 Monaten bestimmt wurden :

Tabelle 7: Oberflächenwiderstände der Profile 7 und 8, beim Bau der Streamer-Tube und nach 10 Monaten Betrieb gemessen

	Widerstand [$k\Omega / \square$]	
	Profil 7	Profil 8
Bau der Streamer-Tube	211	188
nach 10 Monaten Betrieb	307	237

Die Widerstände sind jetzt um ungefähr 50 % bzw. 25 % größer als bei der ersten Messung und unterscheiden sich bei einem relativen Fehler von ungefähr 5 % deutlich. Ein Fehler bei der Messung der Widerstände ist unwahrscheinlich, da die Werte zu den verschiedenen Zeitpunkten gut reproduziert werden konnten. Aus diesen Beobachtungen müßte man folgern, daß sich der Oberflächenwiderstand der Profile mit der Zeit ändert. Solche Beobachtungen sind bisher nicht bei anderen Experimenten gemacht worden. Es bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten, Erklärungen zu finden. // *not*

Die Bestimmung der Oberflächenwiderstände einzelner Kanäle erfolgt, nachdem diese nicht mehr leitend miteinander verbunden sind. Dazu wird das Graphit auf den schmalen Oberseiten der Wände zwischen den Kanälen entfernt. Der Oberflächenwiderstand eines Kanals wird aus der linearen Beziehung zwischen dem Abstand zweier Elektroden im Kanal und

dem zugehörigen Widerstand für sechs Abstände berechnet. Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse für die Kanäle der Profile 7 und 8 :

Tabelle 8: Oberflächenwiderstände der Kanäle von Profil 7 und 8 *nachher*

Weniger genau!

Profil 7		Profil 8	
Kanal	Widerstand [$k\Omega / \square$]	Kanal	Widerstand [$k\Omega / \square$]
1	357	9	392
2	218	10	261
3	226	11	287
4	261	12	314
5	244	13	287
6	226	14	270
7	165	15	218
8	226	16	296

Die relativen Fehler betragen wiederum ungefähr 5 %. Die Widerstände schwanken von Kanal zu Kanal stärker als es dem statistischen Fehler entspricht. Das kann durch Inhomogenitäten bei der Beschichtung der Profile mit Graphit verursacht sein. Aus den Widerständen der einzelnen Kanäle ergeben sich Mittelwerte, die mit den zuvor direkt gemessenen, über ein Profil gemittelten, Oberflächenwiderständen im Rahmen der Fehler übereinstimmen.

In den Abbildungen 51 und 52 sind jetzt für die Kanäle der Profile 7 und 8 die Efficiencies und Multiplizitäten gegen deren Widerstände aufgetragen. Für die Multiplizität scheint es eine Abnahme mit wachsendem Oberflächenwiderstand zu geben, bei der Efficiency ist keine Abhängigkeit zu erkennen.

nicht

6.1.2 Auslese auf der Unterseite

In diesem Kapitel wird das Verhalten der Streamer-Tubes bei der Auslese durch Strips auf der Unterseite beschrieben. Die Strips laufen parallel zu den Drähten.

6.1.2.1 Efficiency und Clustergröße als Funktion der Hochspannung und Ausleseschwelle

Die Abbildungen 53 und 54 zeigen die Hochspannungskurven für zwei verschiedene Ausleseschwellen. Dort ist für jede Hochspannung über alle Kanäle der Streamer-Tubes gemittelt. Zum Vergleich sind auch die Meßwerte der Auslese auf der Oberseite dargestellt. Für die Ausleseschwelle $STOS = 15 \text{ mV}$ zeigt die Efficiency für die Auslese auf der Unterseite keine Abhängigkeit von der Hochspannung. Sie ist kompatibel mit einer konstanten Efficiency e_a mit $e_a = 98.2\% \pm 0.2\%$ und liegt für alle Hochspannungen unter der entsprechenden Efficiency für die Auslese auf der Oberseite. Auch in der Hochspannungskurve mit $STOS = 250 \text{ mV}$ zeigt die Auslese auf der Unterseite eine niedrigere Efficiency als die für die Oberseite.

In Abbildung 55 werden die Efficiencies für die Auslese auf der Ober- bzw. Unterseite für verschiedene Ausleseschwellen $STOS$ miteinander verglichen. Bis auf das Intervall von $STOS = 300 \text{ mV} \dots 450 \text{ mV}$ unterscheiden sich die Efficiencies nicht. Die Abweichungen in diesem Intervall sind allerdings nicht verständlich.

Auch beim Vergleich der Clustergrößen kann man keinen Unterschied zwischen der Auslese auf der Ober- und der auf der Unterseite erkennen, Abbildungen 56

6.1.2.2 Abhängigkeit der Clustergröße vom Kanal

Abbildung 57 zeigt die Abhängigkeit der Clustergröße vom Kanal für drei verschiedene Ausleseschwellen STOS. Dort sind wieder wie in Kapitel 6.1.1.2 die entsprechenden Kanäle einer Streamer-Tube in Paare zusammengefaßt. Für die Schwellen $STOS = 250 \text{ mV}$ und $STOS = 500 \text{ mV}$ haben die Kanäle aus der Mitte der Streamer-Tubes, Paar 8, niedrigere Clustergrößen als die restlichen. In den Abbildungen 58 und 59 ist die relative Clustergröße von Paar 8 gegen die Ausleseschwelle bzw. die Hochspannung aufgetragen. Wie im Falle der Auslese auf der Oberseite ist die relative Clustergröße von Paar 8 unabhängig von der Hochspannung, wenn von dem Datenpunkt bei 4850 V abgesehen wird. Die relative Clustergröße liegt hier jedoch bei 1. Das bedeutet, daß sich die Kanäle in der Mitte einer Streamer-Tube nicht von den übrigen unterscheiden. Auch als Funktion der Ausleseschwelle unterscheidet sich der Verlauf der relativen Clustergröße von dem für die Auslese auf der Oberseite. Die relative Clustergröße steigt für große Schwellen nicht an.

Beachtet man, daß sich die Auslese auf der Ober- und der Unterseite in Bezug auf Efficiency und Clustergröße nicht unterscheiden, so erwartet man dasselbe auch für die relative Clustergröße. Das ist aber nicht der Fall und findet keine Erklärung.

6.1.2.3 Abhängigkeit der Eigenschaften der Profile vom Oberflächenwiderstand

In den Abbildungen 60 und 61 ist die Clustergröße für die Auslese auf der Unterseite für zwei Hochspannungen gegen die Oberflächenwiderstände der Kanäle von Profil 7 und 8 dargestellt. Die Clustergröße nimmt, wie auch bei der Auslese auf der Oberseite, mit wachsendem Widerstand ab. Da die Signale für die Auslese auf der Unterseite jetzt durch die Profile mit unterschiedlichem Widerstand ausgelesen werden, ist dieses Verhalten verständlich, da ein größerer Oberflächenwiderstand eine schmalere Ladungsverteilung im Deckel bewirkt.

? 560!

6.2 Messungen mit einer Streamer-Tube ohne Deckel

In diesem Kapitel werden Messungen mit einer einzigen Streamer-Tube ohne Deckel beschrieben. Die angegebenen Zahlenwerte sind immer Mittelwerte über 14 Kanäle. Die beiden äußersten der 16 Kanäle müssen, wie bei den bisherigen Messungen, unberücksichtigt bleiben, da sie keine Trigger erhalten.

In Abbildung 62 ist die Hochspannungskurve für die niedrigste Ausleseschwelle dargestellt. Hier fällt auf, daß die Streamer-Tube ohne Deckel für gleiche Efficiencies eine um 600 V größere Hochspannung benötigt als Streamer-Tubes mit Deckel. Der Grund hierfür ist eine andere Gestalt des elektrischen Feldes. Die Felder für einen Kanal mit und einen ohne Deckel sind in Abbildung 63 dargestellt.

(7) ... ?
eff. Uni
han man
sch auf
st off alle?
CHC?

Abbildung 64 zeigt die Efficiency als Funktion der Ausleseschwelle bei der größten Hochspannung, bei der die Streamer-Tube ohne Deckel stabil läuft. Der Anstieg, der zunächst mit wachsender Schwelle geschieht, liegt im Bereich statistischer Schwankungen und zeigt, daß die Efficiency im Intervall von STOS = 15 mV ... 300 mV nicht von der Ausleseschwelle abhängt.

Die Abbildungen 65 und 66 zeigen die Clustergröße in Abhängigkeit von der Hochspannung bzw. Ausleseschwelle. Der Vergleich mit den entsprechenden Darstellungen für die Auslese von Streamer-Tubes mit Deckel zeigt, daß die Streamer-Tube ohne Deckel im Mittel eine um ungefähr 0.4 niedrigere Clustergröße aufweist. Das kann durch das Fehlen der Verbreiterung der Ladungsverteilung durch den weggelassenen Deckel erklärt werden.

← Brüche
Nebel
A Quantität!

0.4

Mit der Streamer-Tube ohne Deckel wird bei niedrigster Schwelle eine maximale Efficiency von 97.5% gemessen. Die Hochspannungskurve zeigt aber noch ein schwaches Anwachsen der Efficiency mit der Hochspannung.

? Abb. 62

Das Verhalten dieser Streamer-Tube ohne Deckel ist günstiger als dasjenige der Streamer-Tubes mit Deckel, da für gleich große Efficiencies kleinere Clustergrößen // gemessen werden.

gut

6.3 Messungen mit zwei Streamer-Tubes mit umgekehrter Polarität der Hochspannung

In diesem Kapitel wird das Verhalten zweier Streamer-Tubes beschrieben, bei denen die Signaldrähte auf positiver Hochspannung liegen und die Kathoden geerdet sind. Eine Streamer-Tube hat ein mit einem Deckel verschlossenes Profil, die andere ein offenes Profil. Beide Streamer-Tubes werden auf der Oberseite ausgelesen.

In den Abbildungen 67 und 68 sind die Efficiency und die Clustergröße als Funktion der Ausleseschwelle dargestellt. Die Streamer-Tube ohne Deckel arbeitet jetzt bei den gleichen Hochspannungen wie jene mit Deckel und negativer Hochspannung. Sie zeigt sowohl für die Efficiency als auch die Clustergröße das gleiche Verhalten. Das liegt daran, daß sich das elektrische Feld für die Streamer-Tube ohne Deckel, aber mit positiver Hochspannung, nicht von dem einer Streamer-Tube mit Deckel und negativer Hochspannung unterscheidet.

? wenn nicht
nicht auf
Vorsicht
abkling

Die Streamer-Tube mit Deckel und positiver Hochspannung zeigt keine Abhängigkeit der Efficiency von der Hochspannung. Die Efficiency als Funktion der Ausleseschwelle ist aber größer als für Streamer-Tubes mit Deckel und negativer Hochspannung. Die Betrachtungen in den vorherigen Kapiteln haben gezeigt, daß größere Efficiencies mit größeren Clustergrößen verbunden sind. Das zeigt sich auch hier in Abbildung 68.

6.4 Ereignisse mit einer großen Zahl gefeuerter Kanäle

Die oben durchgeführten Messungen der Clustergröße zeigen, daß beim Durchgang eines Myons durch eine Streamer-Tube im Mittel zwischen zwei und drei Kanäle ein Signal liefern. Somit erwartet man für ein Teleskop aus acht Streamer-Tubes im Mittel zwischen 16 und 24 gefeuerte Kanäle.

Die Betrachtung einzelner Ereignisse zeigt hingegen, daß es auch solche gibt, in denen nahezu alle 128 Kanäle des Streamer-Tube-Systems ein Signal liefern (Abb.69). Eine mögliche Ursache für dieses Verhaltens könnte ein Übersprechen in der Ausleseelektronik oder zwischen den Strips sein. Wie die nun folgende Messung aber zeigt, stammen die Ereignisse mit einer großen Zahl gefeuerter Kanäle von Teilchenschauern. / sch

Abb.70 zeigt die Entwicklung eines Teilchenschauers in der Atmosphäre. Ein Schauer entsteht, wenn ein hochenergetisches Teilchen mit den Molekülen der Materie wechselwirkt und die dabei entstehenden Teilchen soviel Energie erhalten, daß diese bei weiteren Wechselwirkungen ebenfalls neue Teilchen erzeugen können. Anhand der im Schauer vorkommenden Teilchen werden drei Komponenten unterschieden :

Eine hadronische Komponente, zu der im Wesentlichen Protonen, Neutronen und Pionen zählen. Diese entstehen bei der Spaltung von Kernen und können selbst weitere Spaltungen be-

wirken. Die neutralen Pionen können aber auch in Photonen zerfallen und auf diese Weise elektromagnetische Schauer starten.

Die geladenen Pionen können in Myonen und Neutrinos zerfallen und liefern einen Beitrag zur myonischen Komponente des Schauers.

Die elektromagnetische Komponente wird entweder durch den Zerfall neutraler Pionen in Photonen oder niederenergetischer Myonen in Elektronen und Positronen gestartet.

Die myonische Komponente entsteht vorwiegend durch den Zerfall geladener Pionen in Myonen und Neutrinos.

Abb.71 zeigt den relativen Anteil der einzelnen Komponenten am atmosphärischen Schauer in Abhängigkeit vom in der Atmosphäre zurückgelegten Weg. Daraus sieht man, daß auf der Erdoberfläche die hadronische Komponente im Verhältnis zu den beiden anderen zu vernachlässigen ist.

Die Teilchen eines Schauers erreichen die Erdoberfläche in Bündeln, die sich über mehrere Quadratmeter erstrecken. Schauer mit einer großen Ausdehnung kommen dabei weniger häufig vor als jene mit einer kleineren.

Zum Nachweis von Teilchenschauern wird die bisher verwendete Triggeranordnung 1 modifiziert (Abb 72). Szintillator 1 befindet sich nun in einem Abstand von 5 cm auf gleicher Höhe neben Szintillator 2. Es gibt jetzt keine Gerade mehr, die durch alle drei Szintillatoren führt. Ein einzelnes Teilchen kann deshalb keinen Trigger mehr auslösen.

Mit Anordnung 2 erhält man eine Triggerrate von 190 / 2h. Sie ist gegenüber der mit der ursprünglichen Anordnung gemessenen um den Faktor 36.8 geringer, liegt aber um fast 6 Zehnerpotenzen über der berechneten Rate für zufällige Koinzidenzen. Um zu zeigen, daß bei der Berechnung der zufälligen Koinzidenzen kein Fehler unterlaufen ist, werden noch zwei weitere Messungen mit geänderter Triggeranordnung

durchgeführt. Im ersten Fall hat Szintillator 1 einen Abstand von 50 cm von den beiden anderen Szintillatoren. Im zweiten Fall beträgt dieser Abstand 3 m. Entsprechend werden folgende Raten für Dreifach-Koinzidenzen gemessen :
65 / 2h bzw. 9.4 / 2h.

Wären die zufälligen Koinzidenzen falsch berechnet, und schon mit Anordnung 2 nur zufällige Koinzidenzen gemessen worden, dann müßten die beiden weiteren Anordnungen auch eine Rate von 190 / 2h liefern. Das ist nicht der Fall und zeigt, daß die zufälligen Koinzidenzen richtig berechnet sind. Die gemessenen Raten können durch Teilchenschauer erklärt werden. Für diese erwartet man eine Abnahme der Dreifach-Koinzidenzen mit wachsendem Abstand der Szintillatoren, da Schauer mit einer größeren Ausdehnung weniger häufig auftreten als solche mit einer kleineren.

gut
genügend

Wie eingangs bemerkt, äußern sich Teilchenschauer durch eine große Zahl gefeuerter Kanäle in den Streamer-Tubes. In Abbildung 73 ist die Häufigkeit der Anzahl aller im Teleskop gefeuerten Kanäle für die Triggeranordnungen 1 und 2 dargestellt. Die Verteilung für die zweite Triggeranordnung zeigt einen stärkeren Ausläufer zu großen Anzahlen, wie es dem vermehrten Durchgang von Teilchenschauern durch die Streamer-Tubes entspricht. Sie weist ebenfalls einen stärkeren Ausläufer zu kleinen Anzahlen auf als bei Anordnung 1. Diese stammen von Ereignissen der in Abb. 74 gezeigten Art. Hier handelt es sich um Teilchendurchgänge, bei denen zwar alle drei Szintillatoren durchquert werden, nicht aber alle Streamer-Tubes. Berücksichtigt man nur solche Ereignisse, in denen jede Streamer-Tube ein Signal liefert, dann erhält man die in Abb. 75 gezeigten Verteilungen. Der Ausläufer zu großen Anzahlen bleibt für die zweite Triggeranordnung bestehen, derjenige zu niedrigen Anzahlen verschwindet.

V

Die beiden Verteilungen sollten auf der ansteigenden Flanke übereinstimmen. Diese erhält nur Beiträge von Ereignissen, bei denen nur ein Teilchen die Streamer-Tubes durchquert. Die beobachtete Diskrepanz könnte aber von leicht verschiedenen Gasmischungen während der Messungen herrühren.

Mit Hilfe der gemessenen Verteilungen kann die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Teilchenschauers abgeschätzt werden. Dazu wird angenommen, daß alle Ereignisse mit mehr als 30 gefeuerten Kanälen von Schauern herrühren. Diese Annahme wird durch Abb. 75 gerechtfertigt, die zeigt, daß sich dort die beiden Verteilungen schon stark unterscheiden. Für Triggeranordnung 1 feuern in 2.8% aller Teilchendurchgänge mehr als 30 Kanäle. Zu einer weiteren Abschätzung gelangt man durch die Raten, mit denen bei den Anordnungen 1 und 2 getriggert wird. Für diese ergibt sich ein Verhältnis von 0.027. Dieser Wert ist mit dem zuvor gewonnenen verträglich.

Eine zusätzliche Bestätigung für den Durchgang mehrerer Teilchen durch die Streamer-Tubes gibt das folgende, zufällig beobachtete Ereignis:

Hier sind zwei Spuren deutlich unterschieden.

```
..*.....**...  
..*.....**...  
.**.....*...  
.*.....*...  
***.....**...  
***.....**...  
.*.....*...  
**.....**...
```

7. Zusammenfassung

Diese Arbeit beschreibt Messungen an Streamer-Tubes mit digitaler induzierter Auslese.

Streamer-Tubes mit Deckel zeigen bei der Auslese auf der Ober- bzw. Unterseite gleiches Verhalten in Bezug auf Efficiency und Clustergröße. Die größte gemessene Efficiency beträgt 99.2% für die Auslese auf der Oberseite. Die Clustergröße in diesem Fall ist ungefähr 3. Efficiency und Clustergröße sind positiv korreliert, eine niedrigere Clustergröße, 1.5, wird nur bei niedrigerer Efficiency von 97% erreicht. Es zeigt sich eine Abhängigkeit von Efficiency und Clustergröße vom Oberflächenwiderstand des Profils. Diese ist für die Auslese auf der Unterseite verständlich, für die Auslese auf der Oberseite nicht. Die benachbarten Kanäle der beiden Profile einer Streamer-Tube zeigen niedrigere Clustergrößen als die übrigen Kanäle.

von Wert zu 8,9?

Eine Streamer-Tube ohne Deckel und mit negativer Hochspannung benötigt eine um 600 V größere Spannung zum Betrieb. Das wird durch einen geänderten Verlauf des elektrischen Feldes erklärt. Diese Streamer-Tube zeigt bei gleicher Efficiency niedrigere Clustergrößen bei der Auslese auf der Oberseite als eine Streamer-Tube mit Deckel.

Eine Streamer-Tube ohne Deckel und positiver Hochspannung zeigt das gleiche Verhalten wie eine mit Deckel bei negativer Hochspannung.

1) STOS

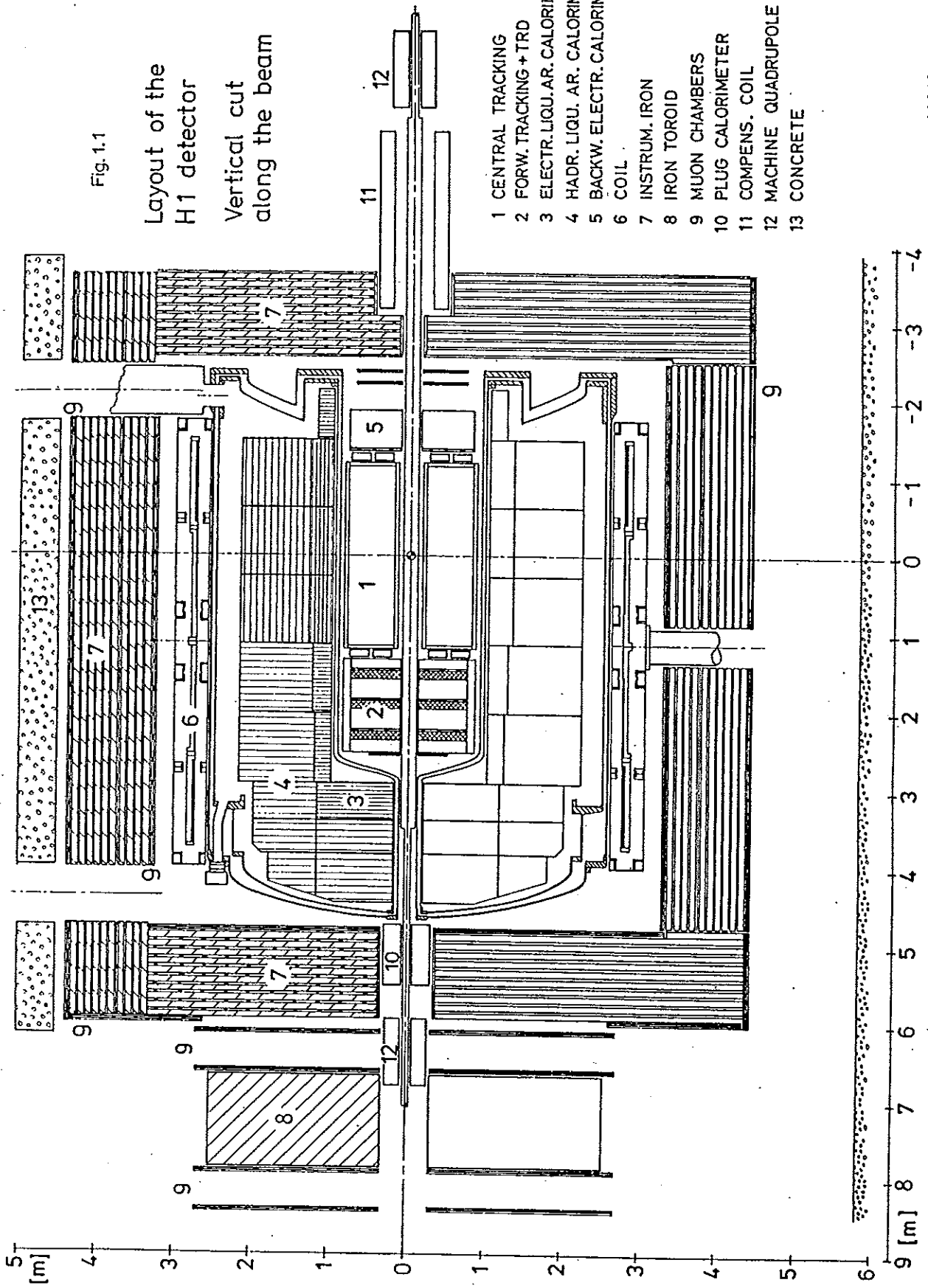
2) HV an Kathode - HA conf.
 $\Sigma, < n_{cl} >$ HV, R_D , STOS-Methode

Trick: 1. Spanne; $\Sigma > 99.2\%$ erreicht, $\langle n_{cl} \rangle < 2$
• HV an Kathode konstant = 500 V für 1000 V
• Wert $\Sigma \rightarrow n_{cl}$
• große Fehler bei Strommessung mit Digitalmeter.
• R_D (Kath.) für Auslese oben nur kurz
• Vorläufe oben, nicht mit höherer Dosis am. kein "wird"

"wird" "wird"

Fig. 1.1

Layout of the
H1 detector
Vertical cut
along the beam



- 1 CENTRAL TRACKING
- 2 FORW. TRACKING + TRD
- 3 ELECTR. LIQU. AR. CALORIM.
- 4 HADR. LIQU. AR. CALORIM.
- 5 BACKW. ELECTR. CALORIM.
- 6 COIL
- 7 INSTRUM. IRON
- 8 IRON TOROID
- 9 MUON CHAMBERS
- 10 PLUG CALORIMETER
- 11 COMPENS. COIL
- 12 MACHINE QUADRUPOLE
- 13 CONCRETE

39612

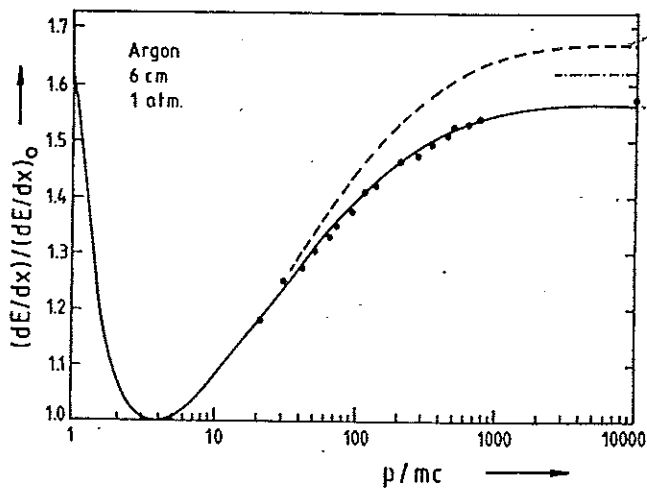
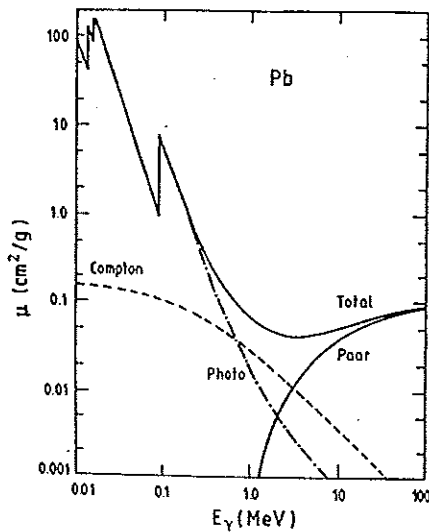


Abb. 2 Bethe-Bloch-Formel : Energieverlust durch Ionisation, normiert auf den Minimalwert /2/



Handwritten note:
 Pb
 Total
 in Pb

Abb. 3 Die verschiedenen Beiträge zum Massenabsorptionskoeffizienten für Photonen in Materie /2/

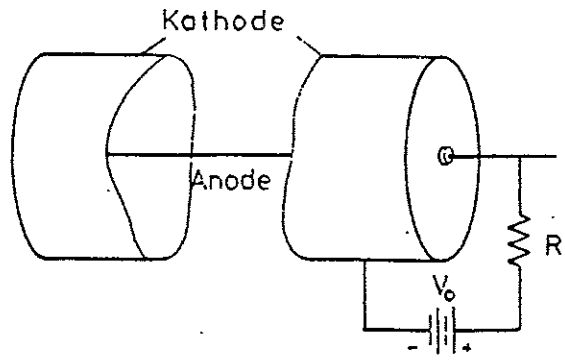


Abb. 4 Schematischer Aufbau eines Gasdetektors /6/

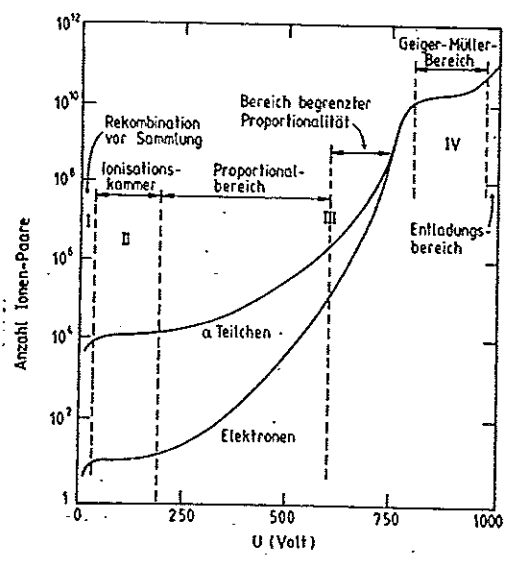


Abb. 5 Arbeitsbereiche eines Gasdetektors /2/

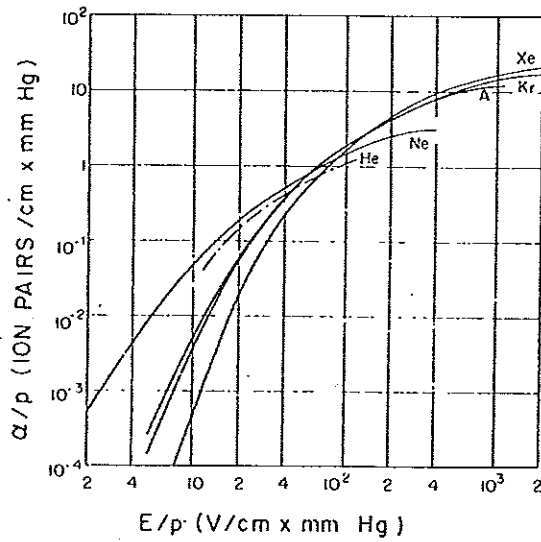


Abb. 6 Erster Townsend Koeffizient für verschiedene Edelgase /3/

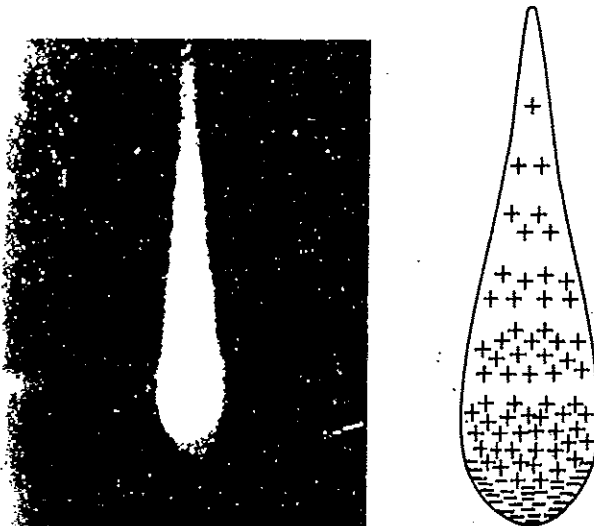


Abb. 7 Tropfenform einer Townsend Lawine /3/

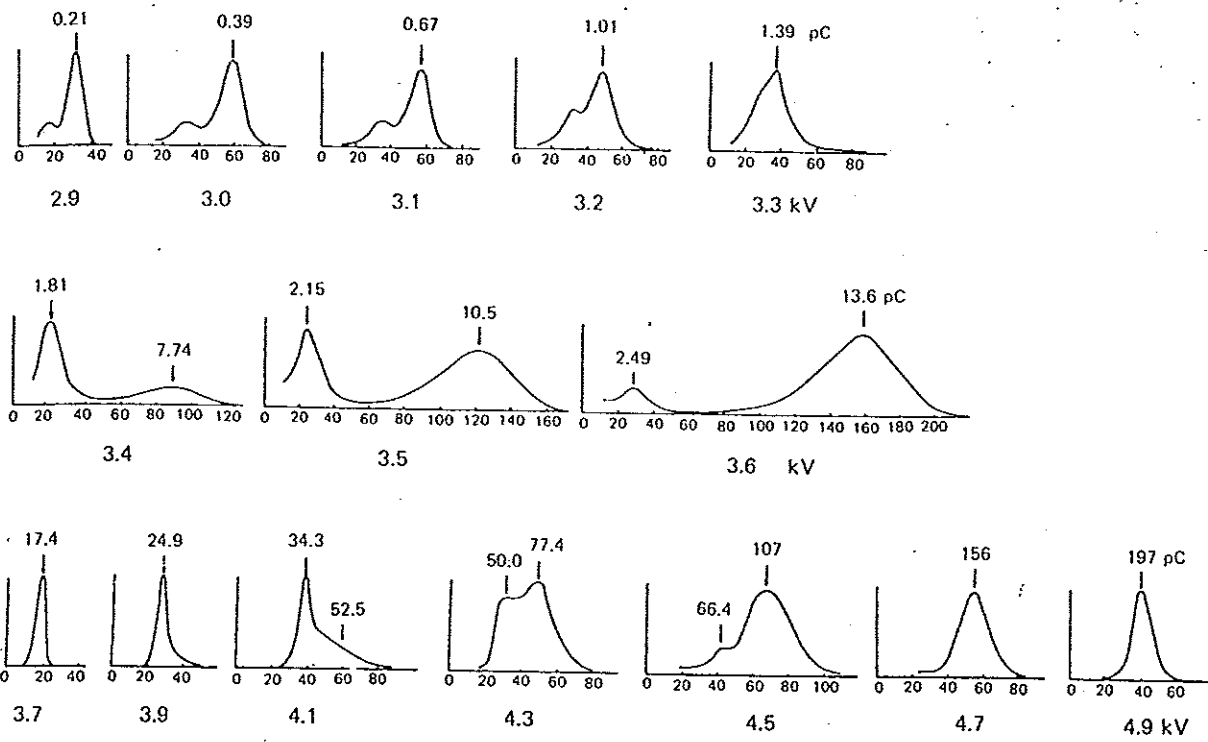


Abb. 8 Ladungsspektrum zur Veranschaulichung des Übergangs vom Proportionalmode in den Streamer-Mode /4/

Abb. 9 Schwerpunkte der Ladungsspektren aus Abb.8 als Funktion der Hochspannung /4/

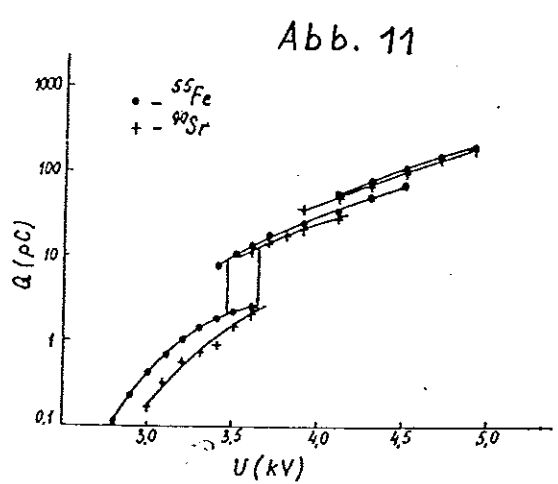
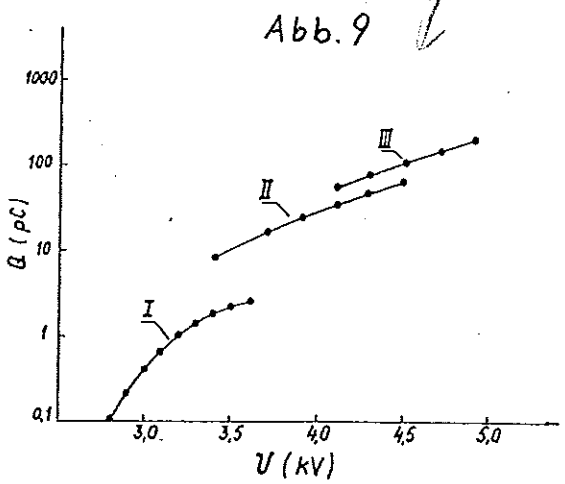


Abb. 11 Abhängigkeit des Übergangs vom Proportionalmode in den Streamer-Mode von der primär deponierten Ladung /4/

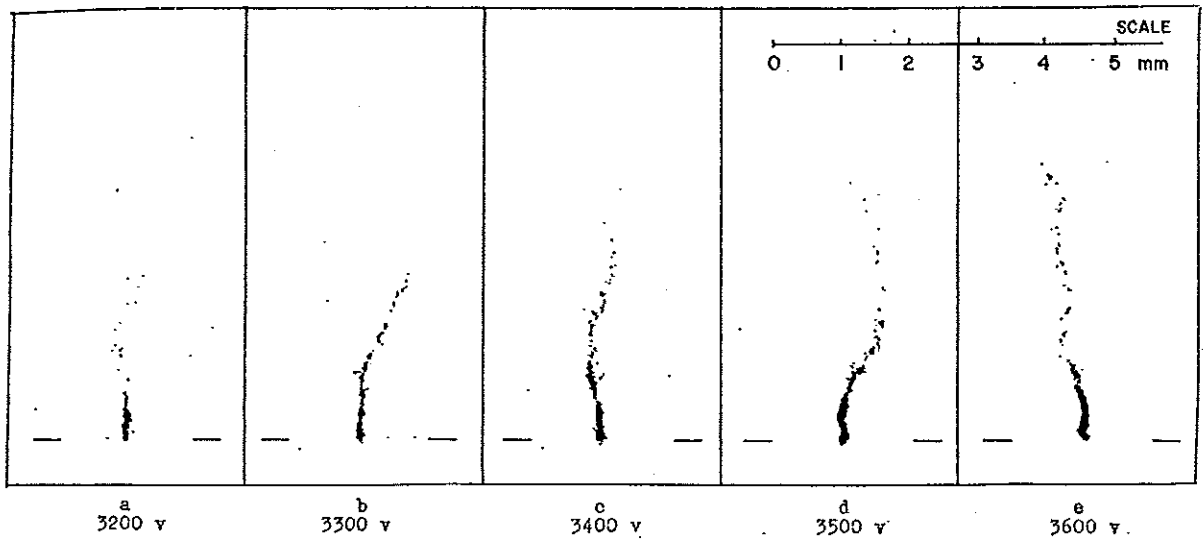


Abb. 10 Photographien von Streamern zur Veranschaulichung deren Orientierung /5/

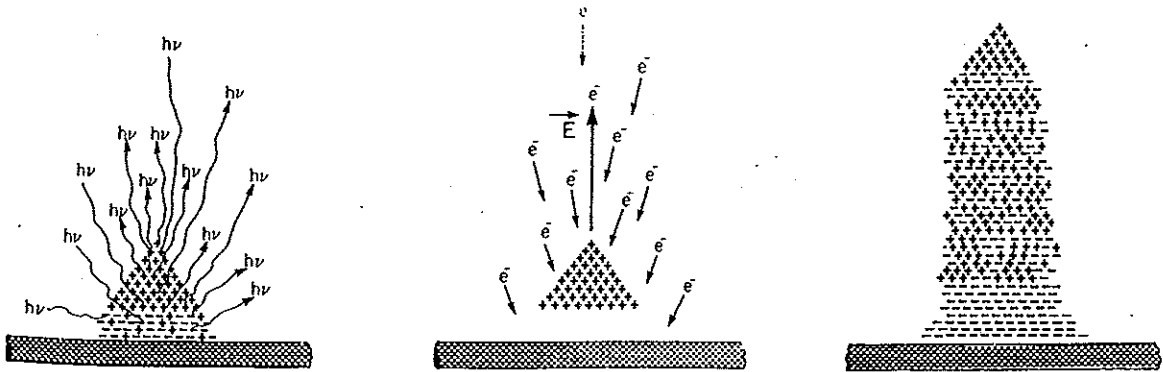


Abb. 12 Schematische Darstellung der Entwicklung eines Streamers /5/

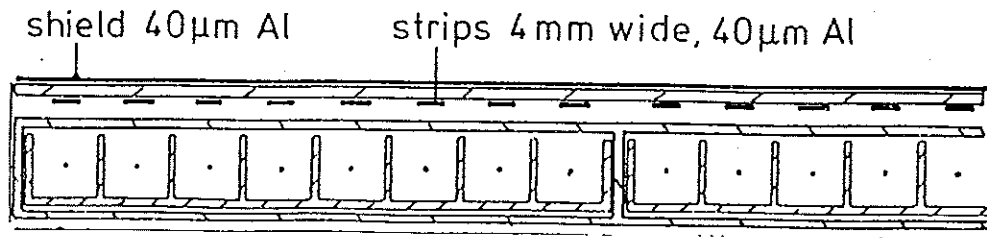


Abb. 13 Ausschnitt aus einer Streamer-Tube /1/

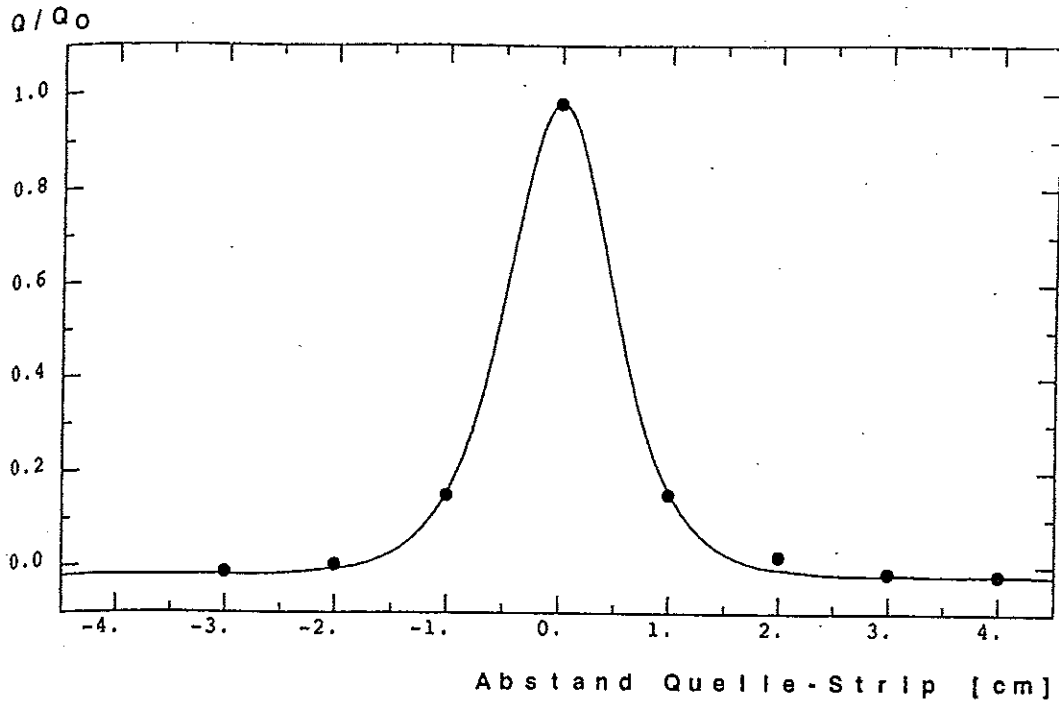


Abb. 14 Anteil der auf den Strips induzierten Ladung für einen Streamer bei 0 cm. Das Profil ist nicht verschlossen /6/

Wann?

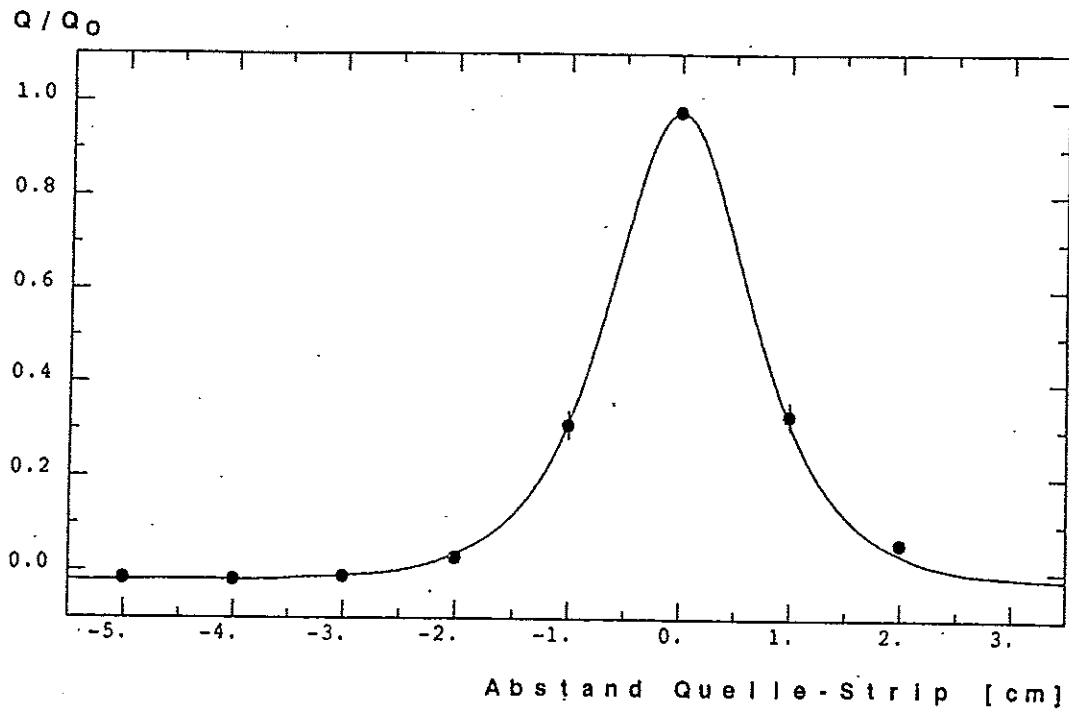


Abb. 15 Anteil der auf einem Strip induzierten Ladung für ein Profil mit 1 MΩ Deckel und einen Streamer bei 0 cm /6/ *Wanne?*

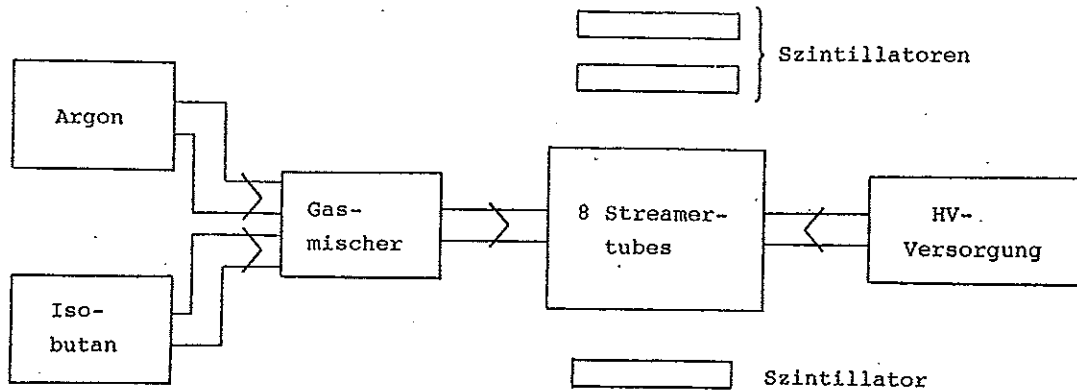


Abb. 16 Experimenteller Aufbau

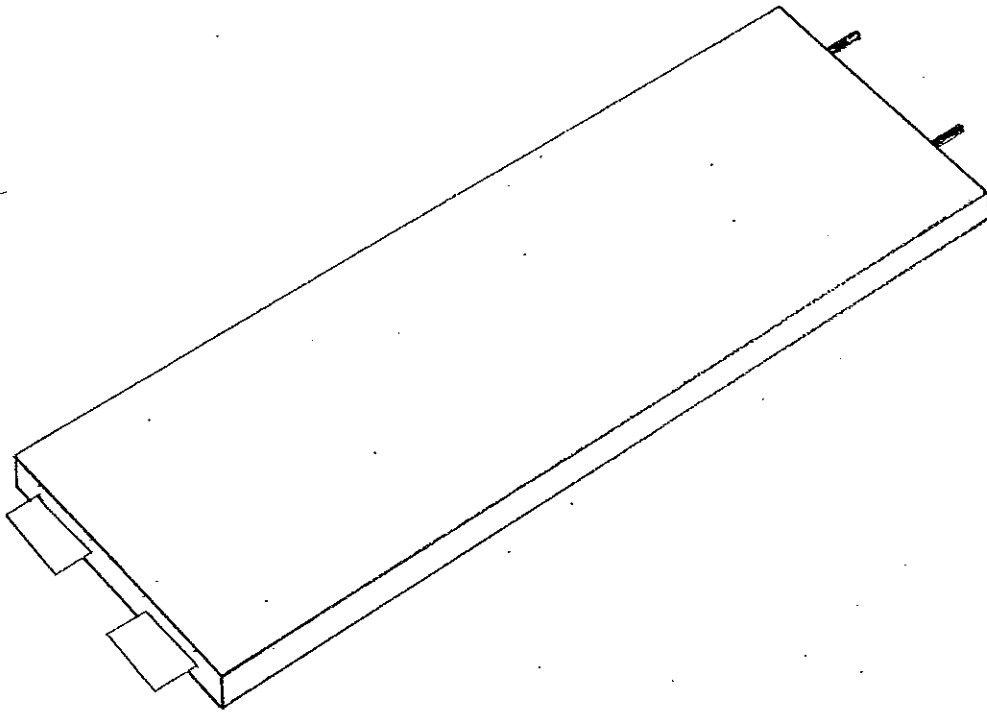


Abb. 17 Streamer-Tube im Gehäuse

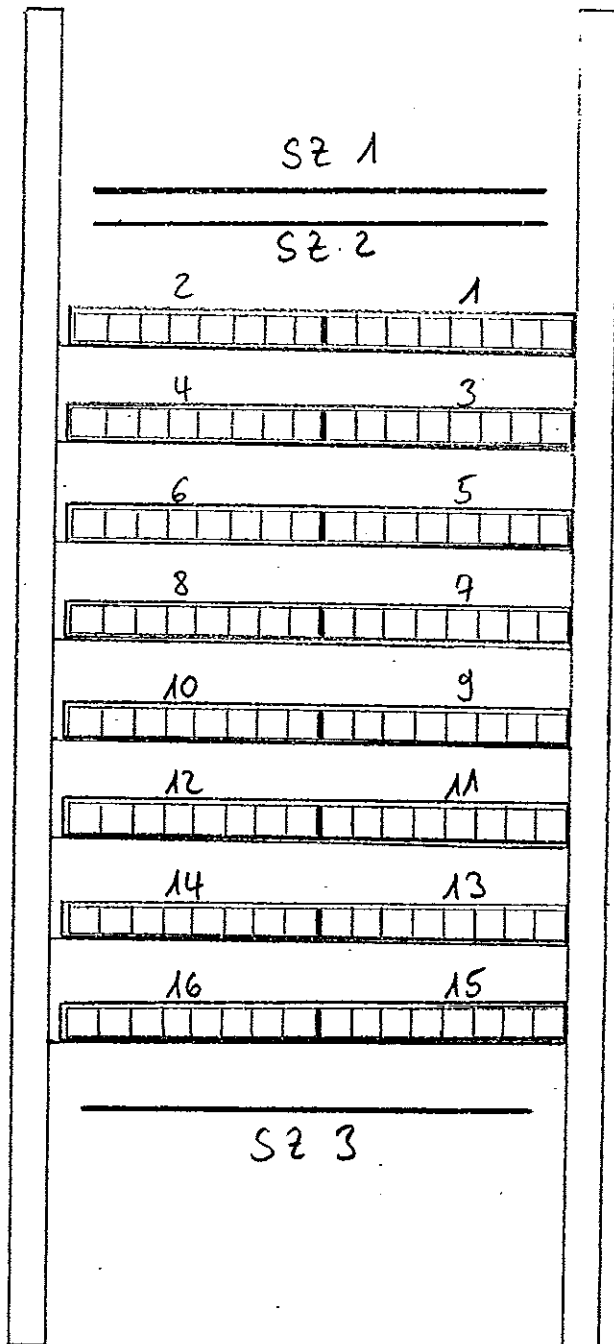


Abb. 18 Gestell zur Positionierung der Streamer-Tubes und die Szintillatoren

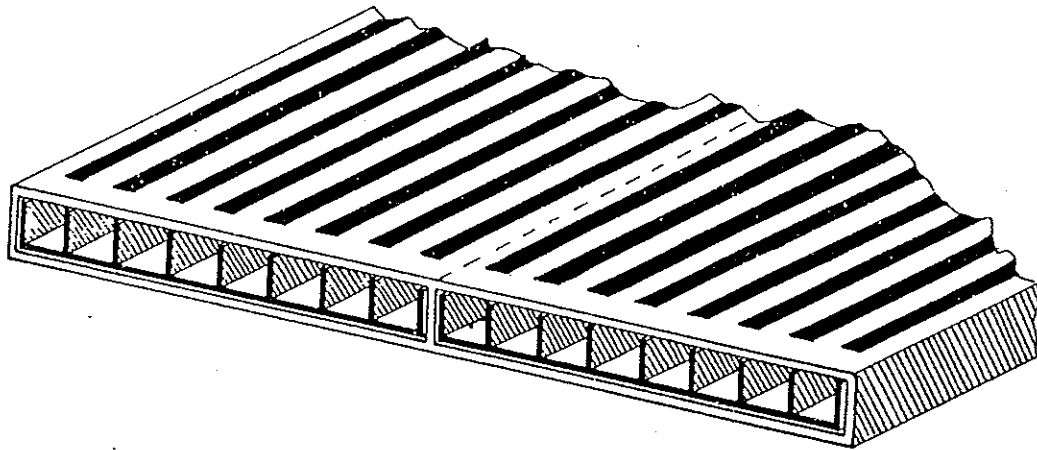
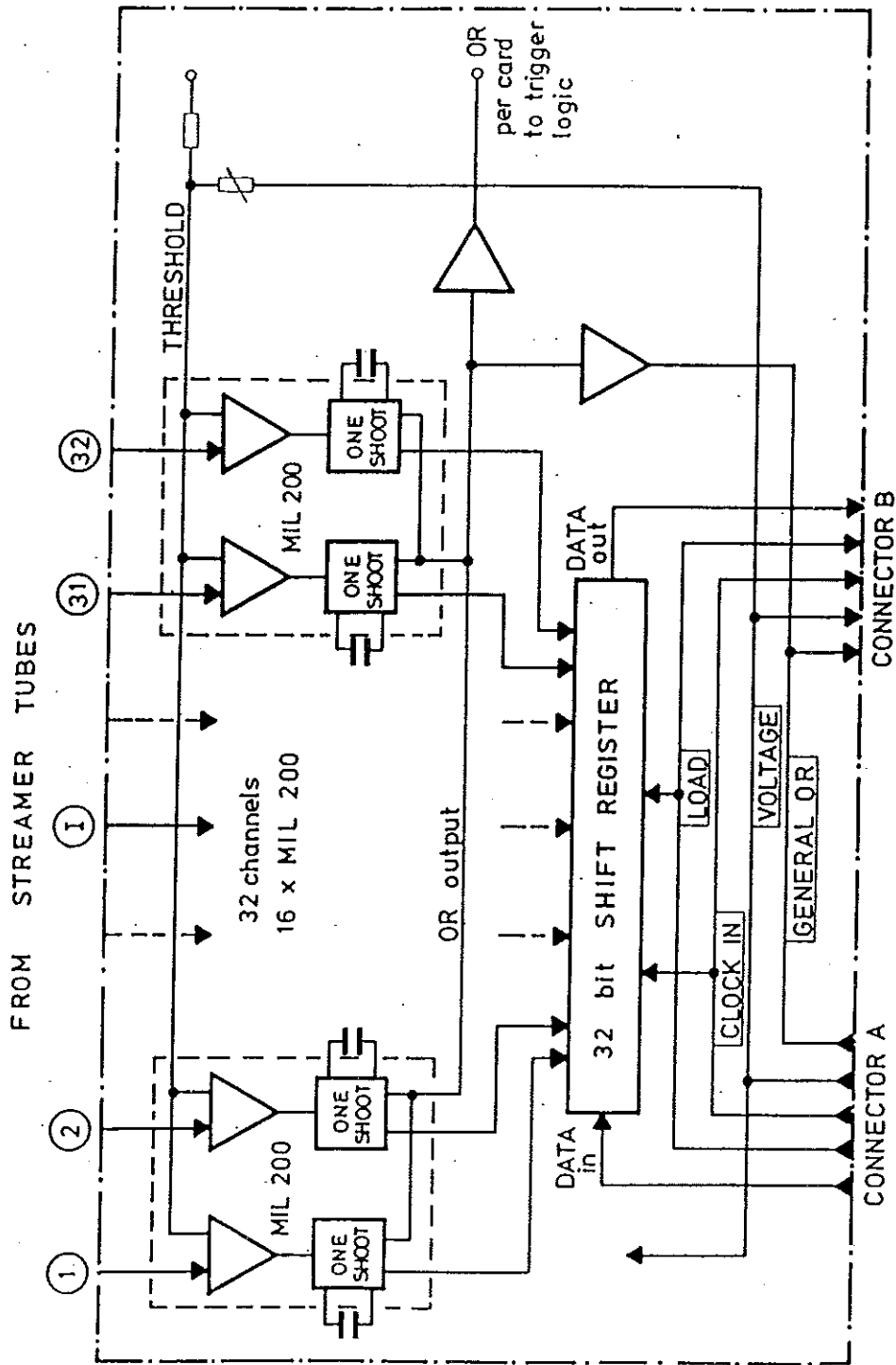


Abb. 20

Lage der parallelen Strips auf der Oberseite der Kammer.
Breite der Aluminiumstreifen : 4 mm, Abstand der Strips
von Mitte zu Mitte : 1.0 cm /6/

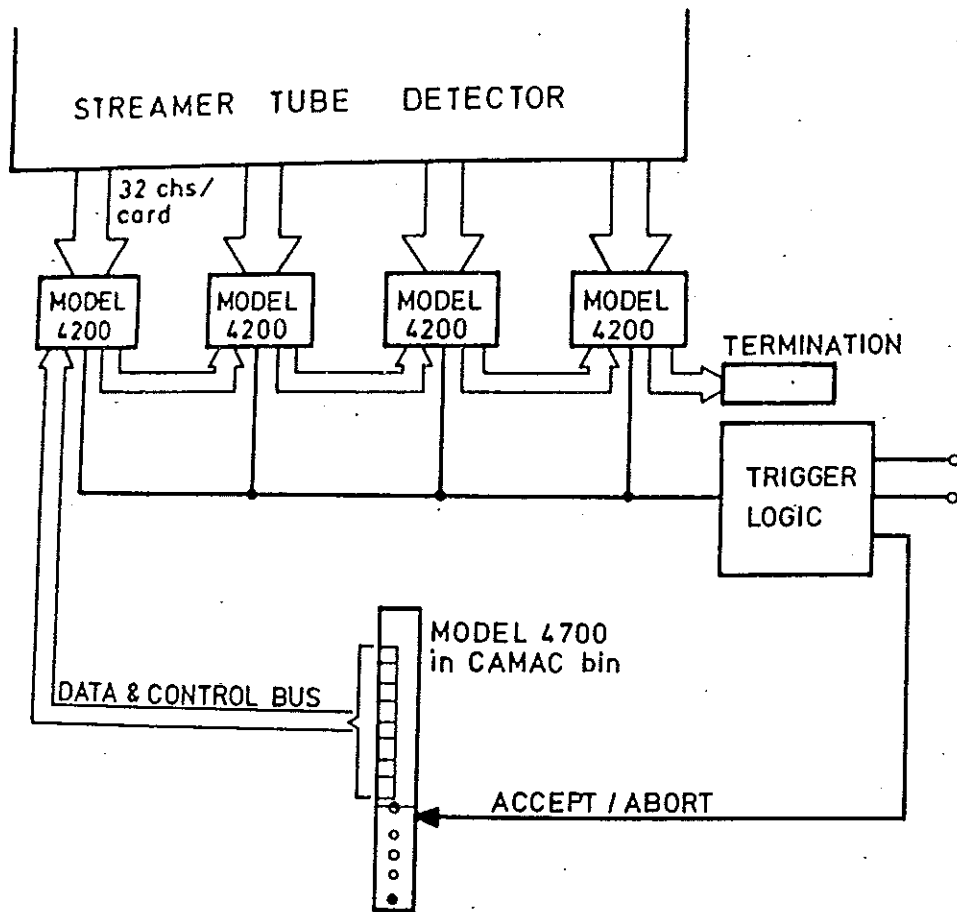


MODEL 4200 STREAMER TUBE CARD

Abb. 21 Blockschalbild einer Auslesekarte

(112/)

Handwritten signature



STOS I BLOCK DIAGRAM

Abb. 22 Verschaltung der Auslesekarten und des Kontrol-
lers (12/)

Handwritten signature

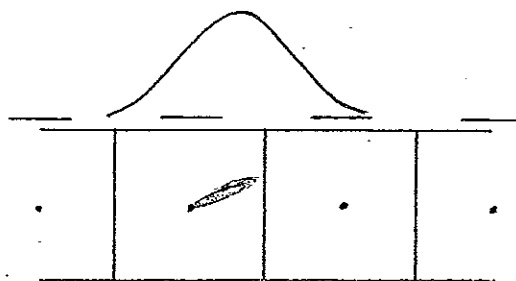


Abb. 24 Orientierung des Streamers, bei der zwei Kanäle
feuern

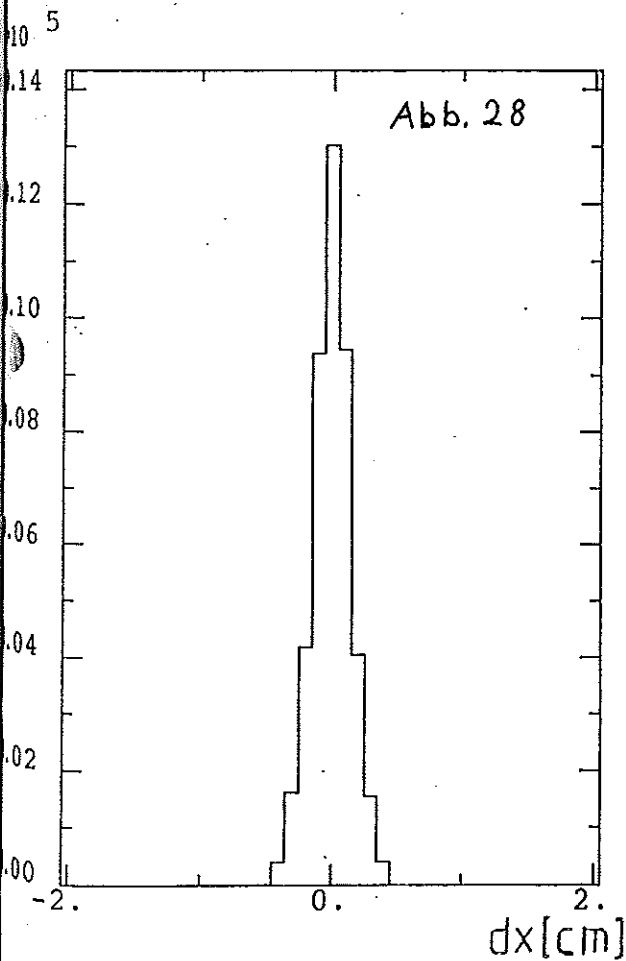
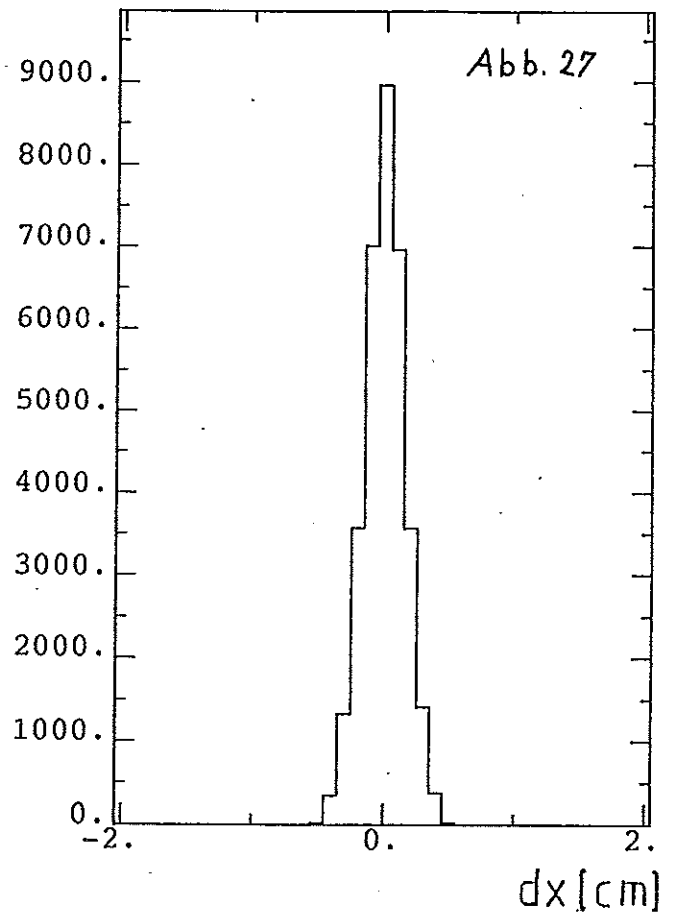
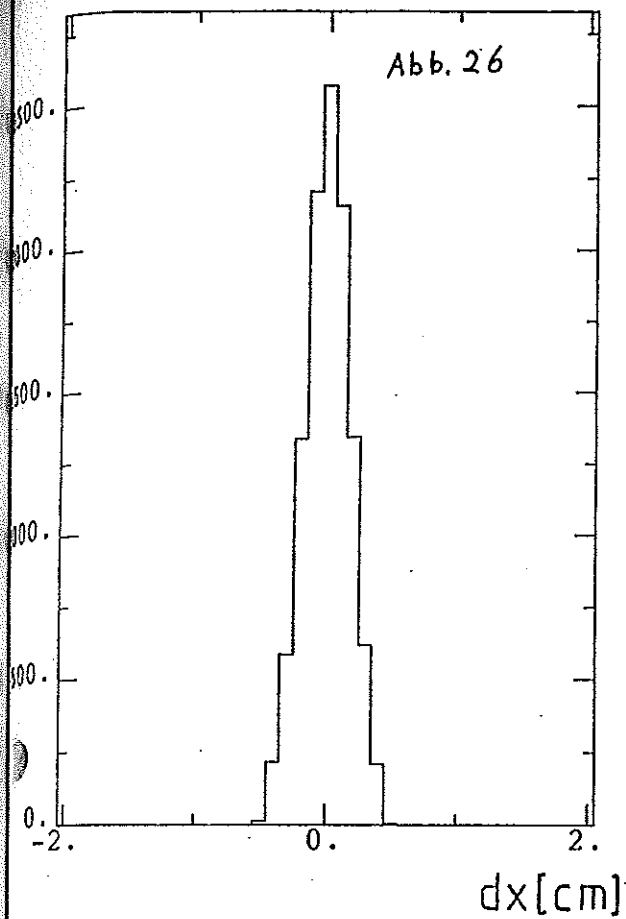


Abb. 26,27,28 Verteilung der Häufigkeit, mit der die rekonstruierte x-Koordinate von der gemessenen x-Koordinate um dx abweicht, für 4,5 und 6 zur Rekonstruktion benutzte Streamer-Tubes.

M.C

?

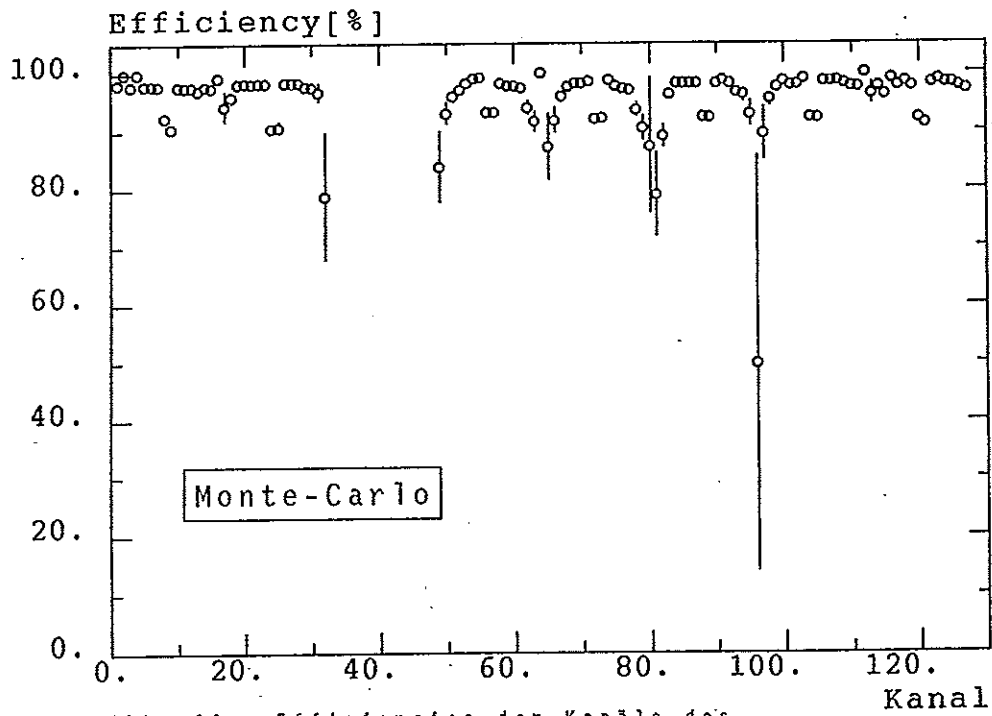


Abb. 29 Efficiencies der Kanäle des Streamer-Tube Systems für Monte-Carlo Ereignisse

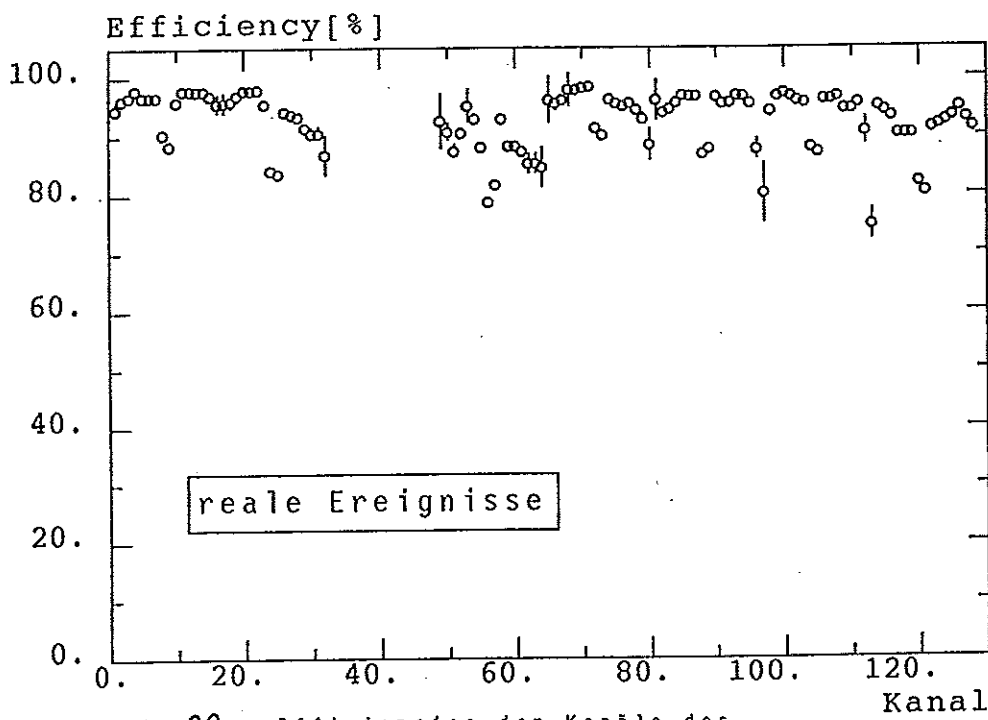


Abb. 30 Efficiencies der Kanäle des Streamer-Tube Systems für reale Ereignisse

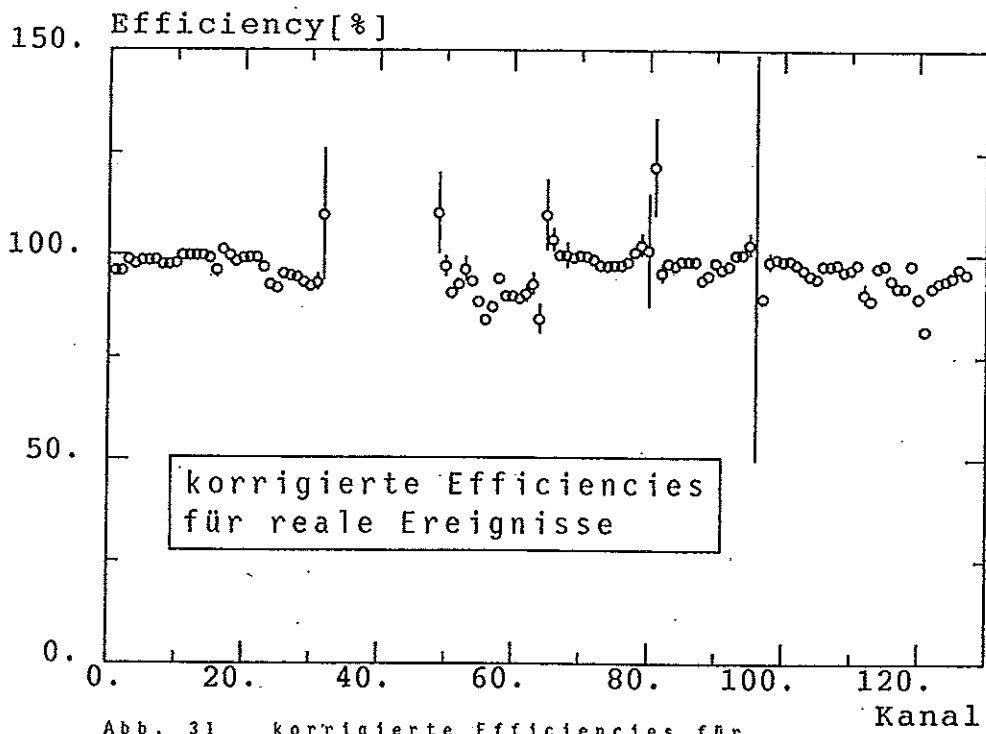


Abb. 31 korrigierte Efficiencies für die Kanäle des Streamer-Tube Systems

Häufigkeit

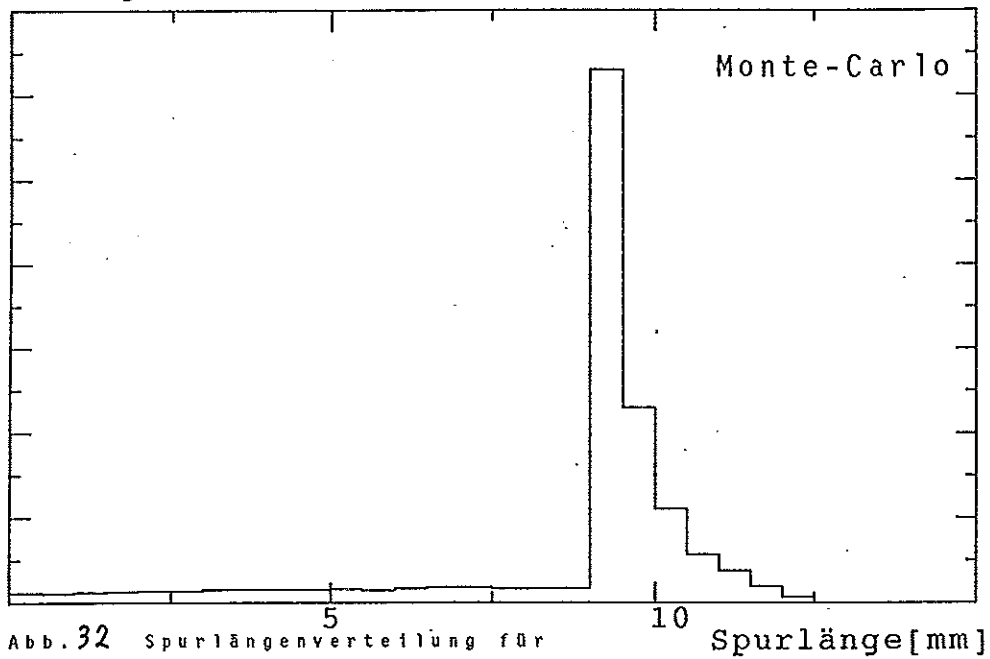


Abb. 32 Spurlängenverteilung für Monte-Carlo Ereignisse - alle Kanäle zusammengefasst

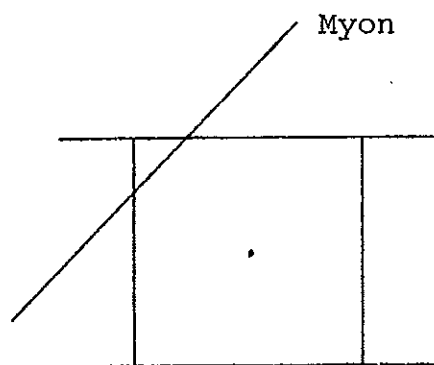
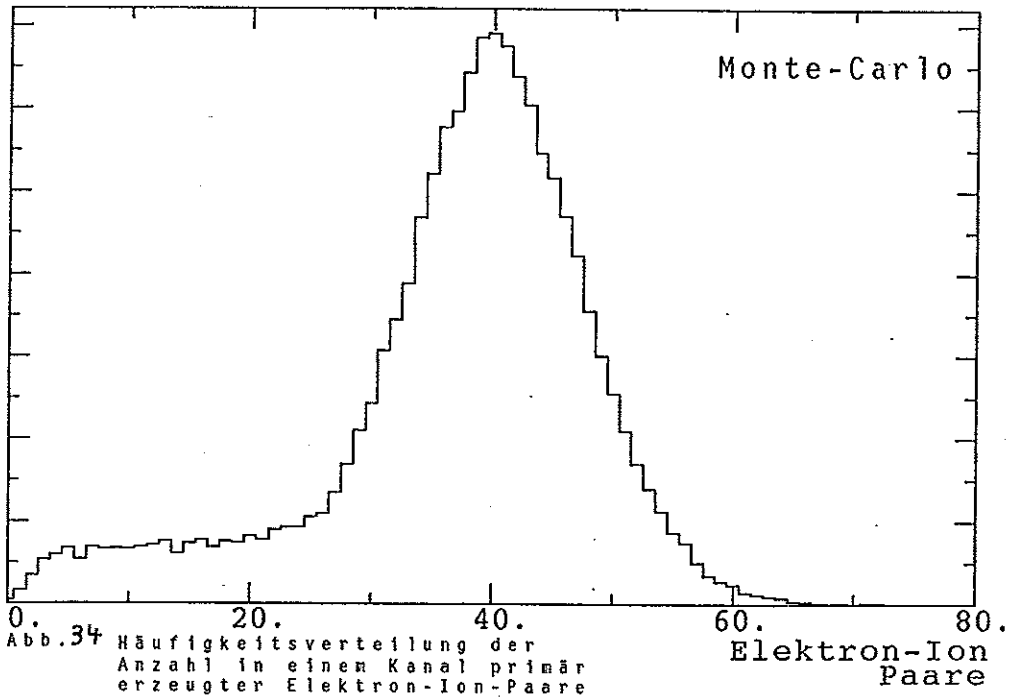
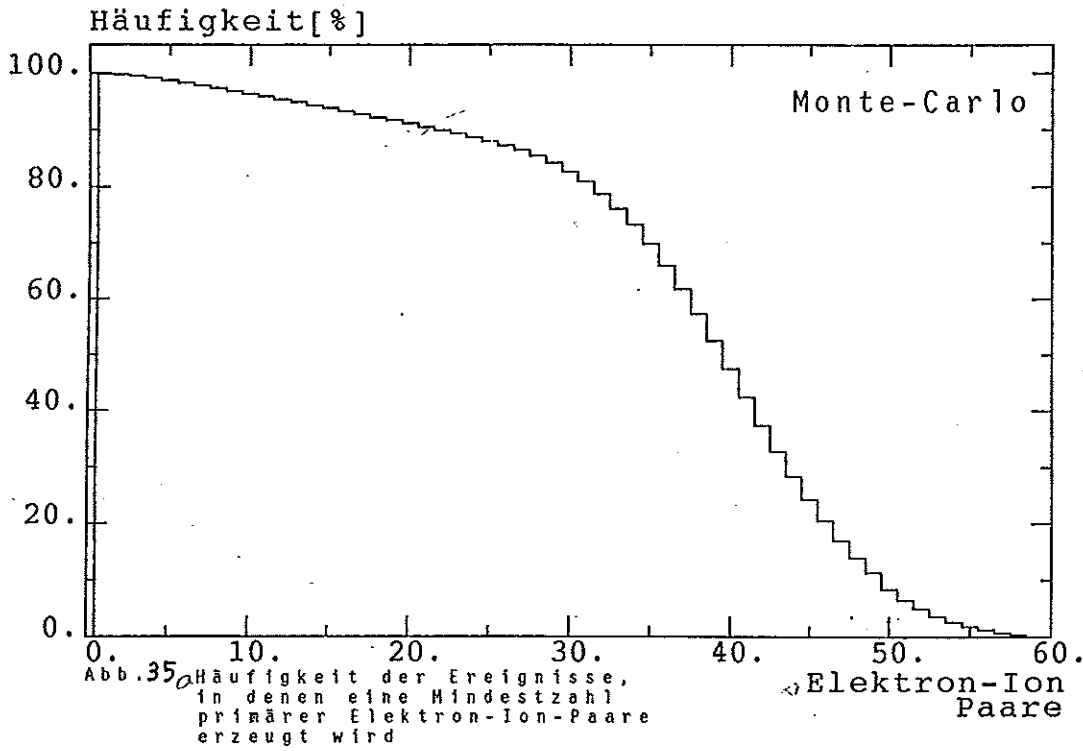


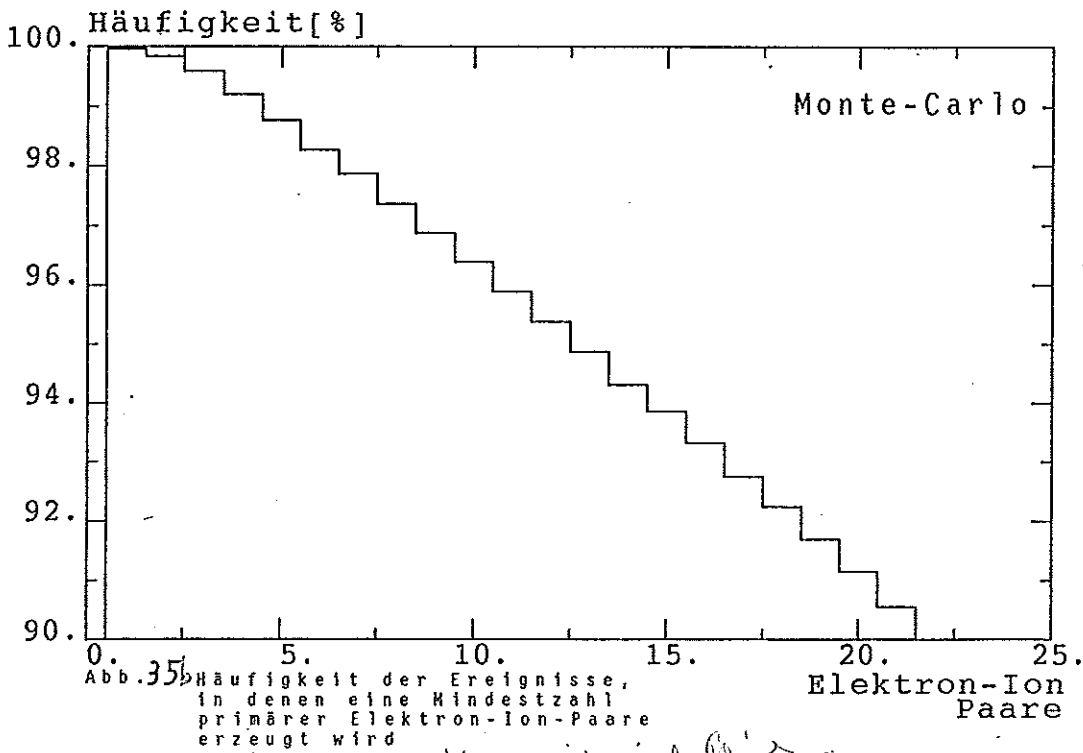
Abb. 33 Teilchenspur mit kleiner Spurlänge in einem Kanal

Häufigkeit





Handwritten note: $\mu = 2.5$



Handwritten notes: $\mu = 1.5$
 $\sigma = 0.5$

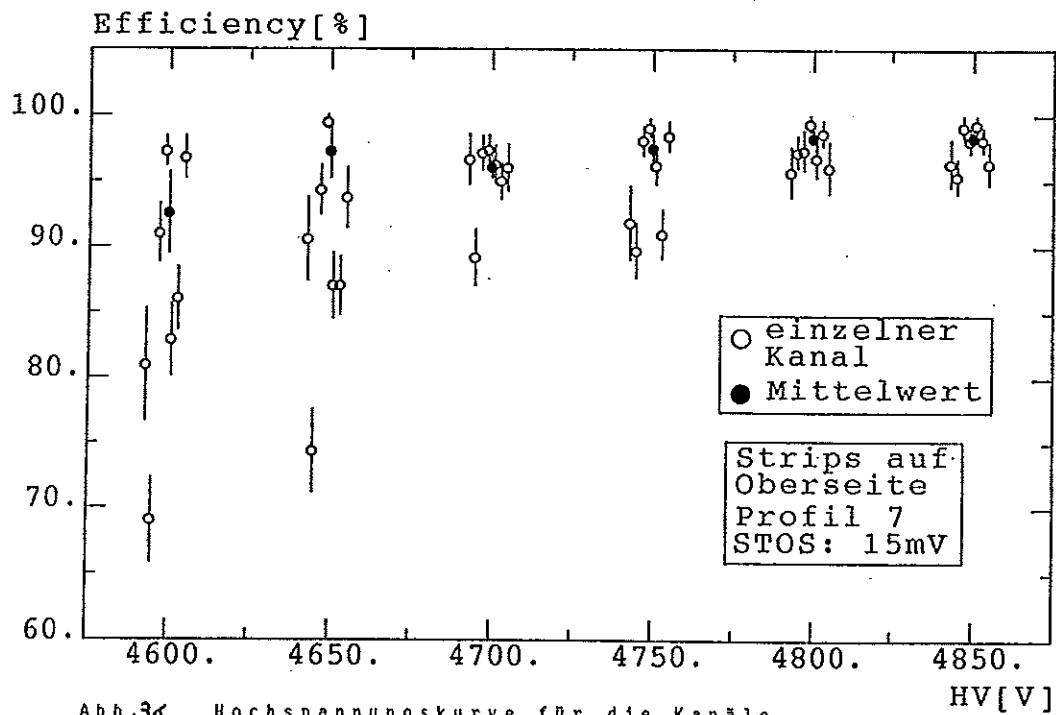


Abb.36 Hochspannungskurve für die Kanäle von Profil 7 - Beispiel für die Berechnung von Mittelwert und Fehler der Efficiency

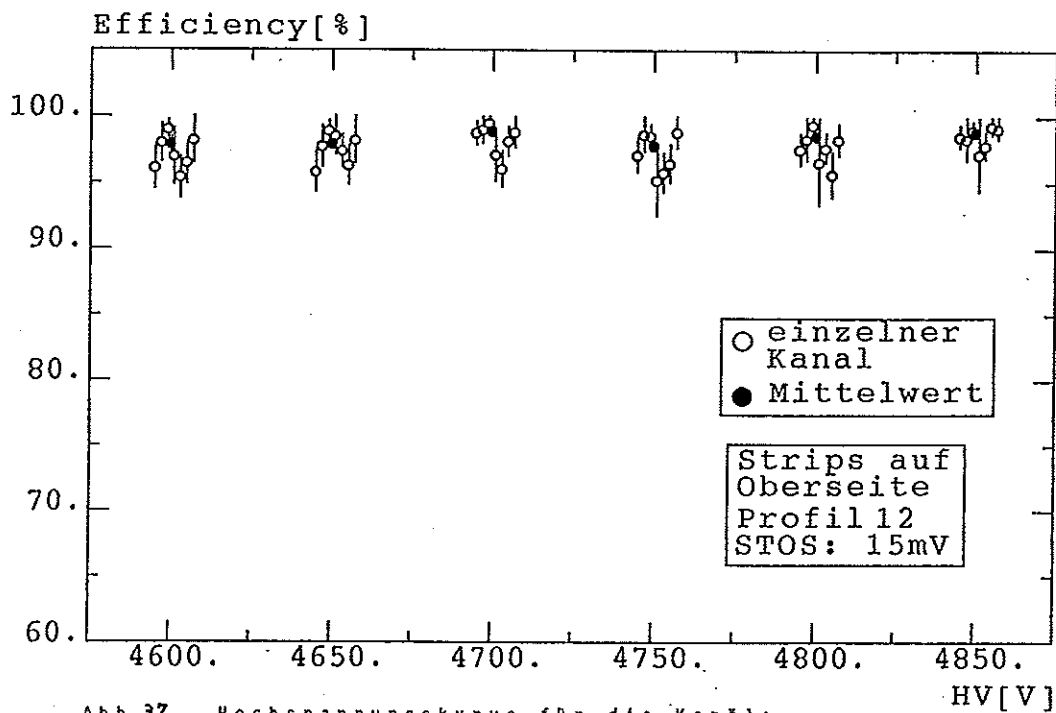


Abb.37 Hochspannungskurve für die Kanäle von Profil 12 - Beispiel für die Berechnung von Mittelwert und Fehler der Efficiency

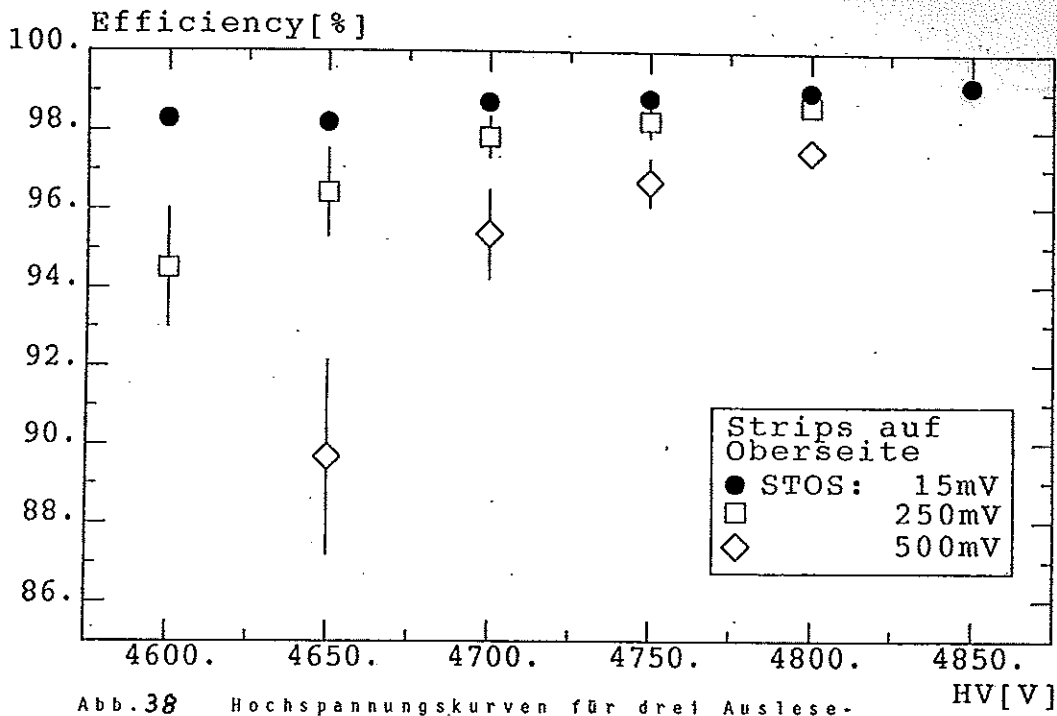


Abb. 38 Hochspannungskurven für drei Ausleseschwellen - Mittelwert über die Efficiencies aller Kanäle für die Auslese auf der Oberseite

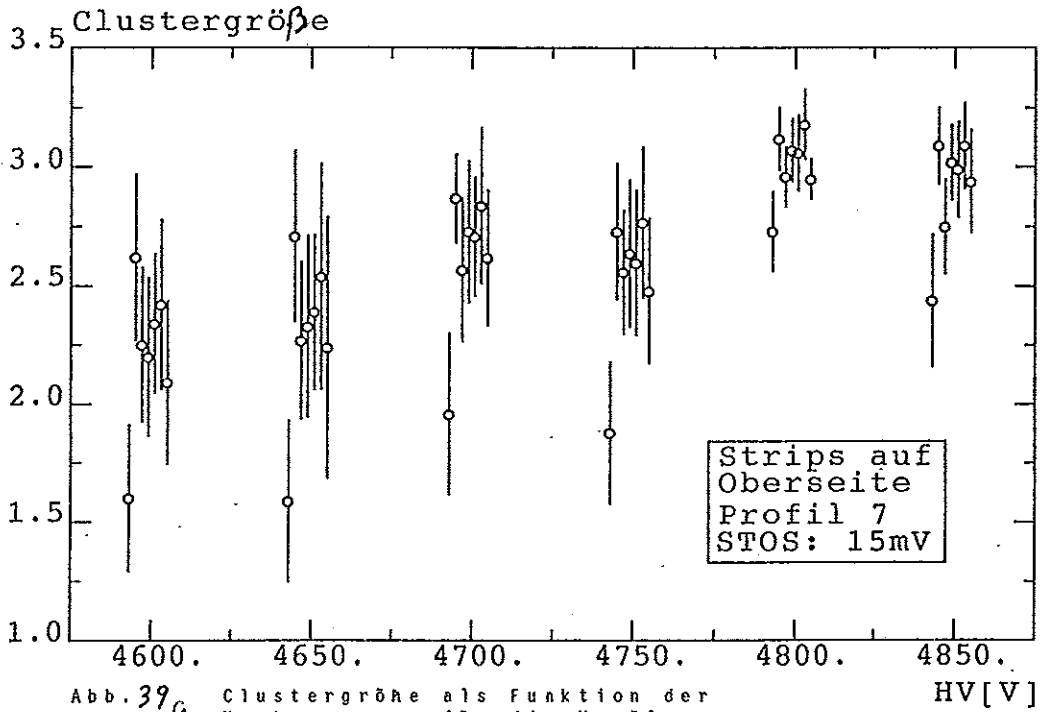


Abb. 39a Clustergröße als Funktion der Hochspannung für die Kanäle von Profil 7

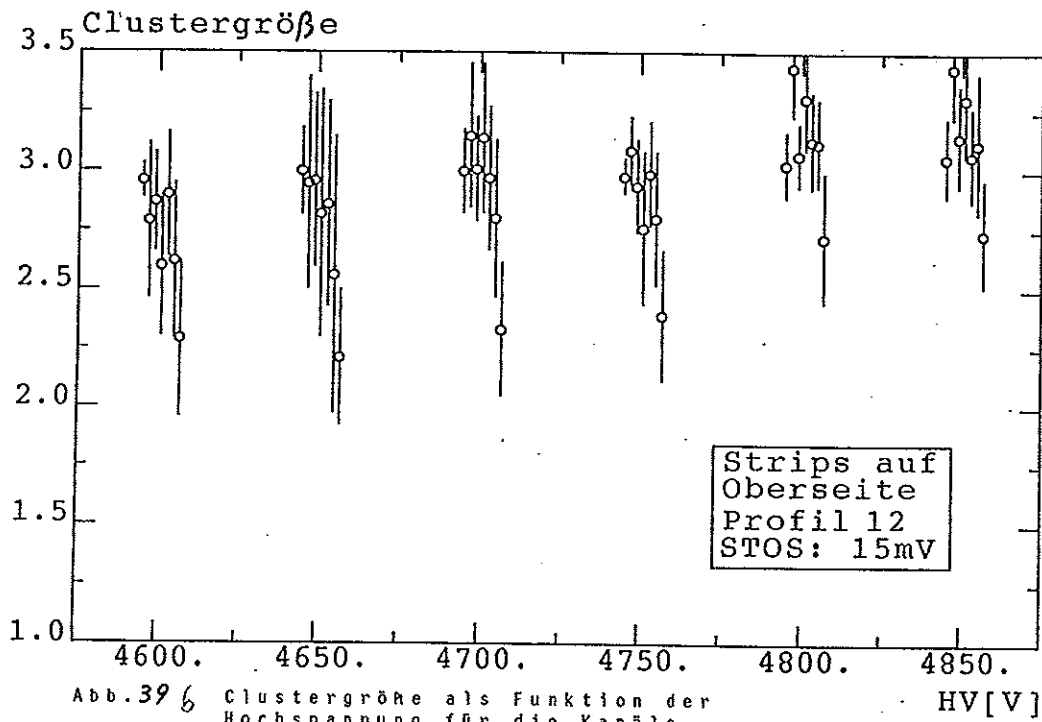


Abb. 39 Clustergröße als Funktion der Hochspannung für die Kanäle von Profil 12

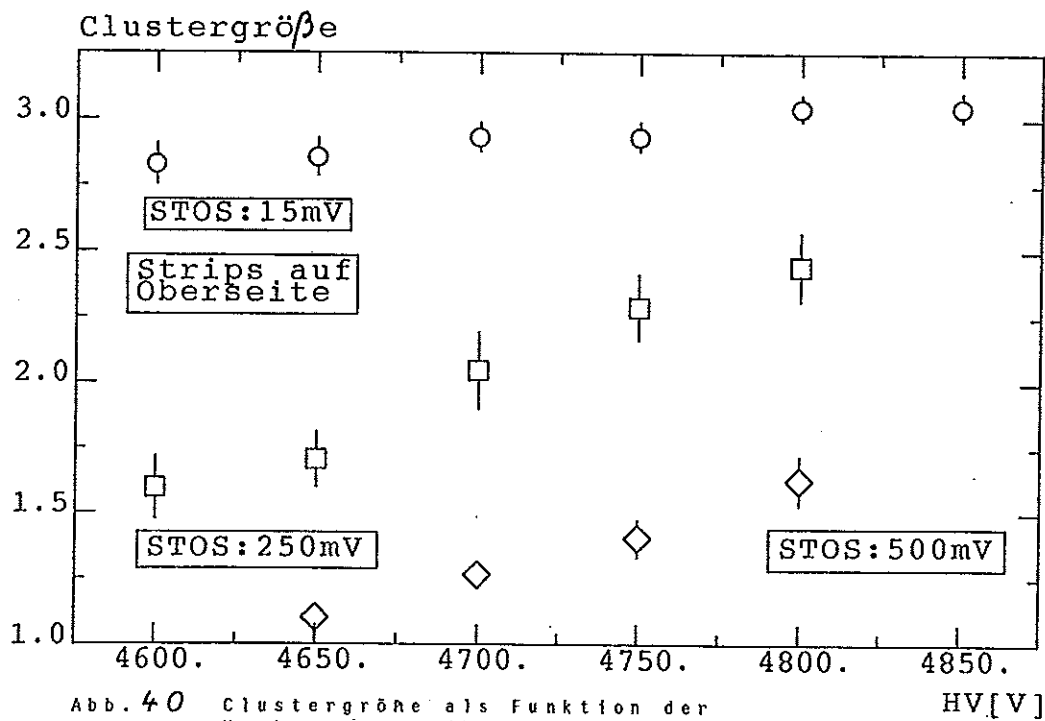


Abb. 40 Clustergröße als Funktion der Hochspannung für drei Ausleseschwellen - Mittelwert über alle Kanäle für die Auslese auf der Oberseite

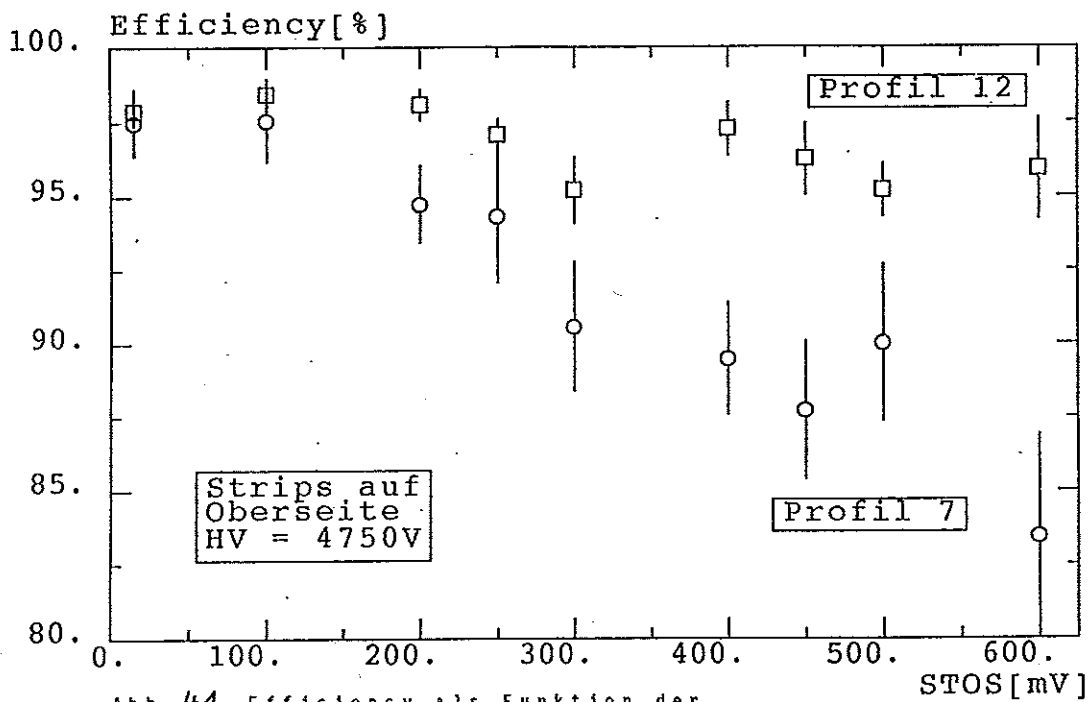


Abb. 41 Efficiency als Funktion der Ausleseschwelle für die Auslese auf der Oberseite - zwei Profile mit unterschiedlichem Verhalten

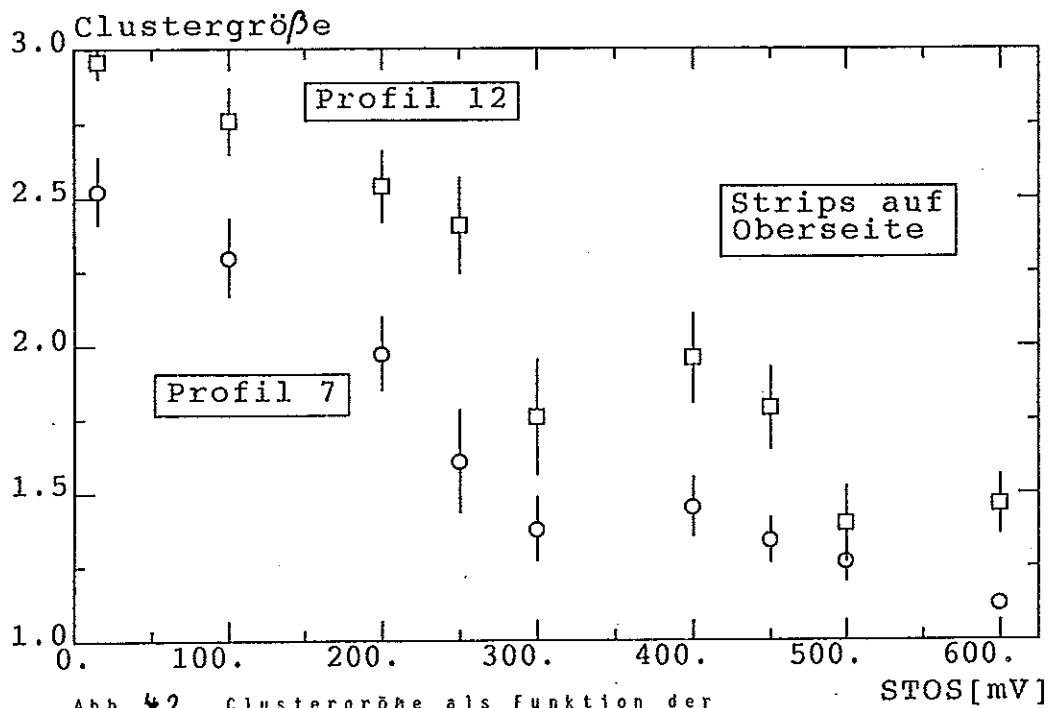


Abb. 42 Clustergröße als Funktion der Ausleseschwelle -

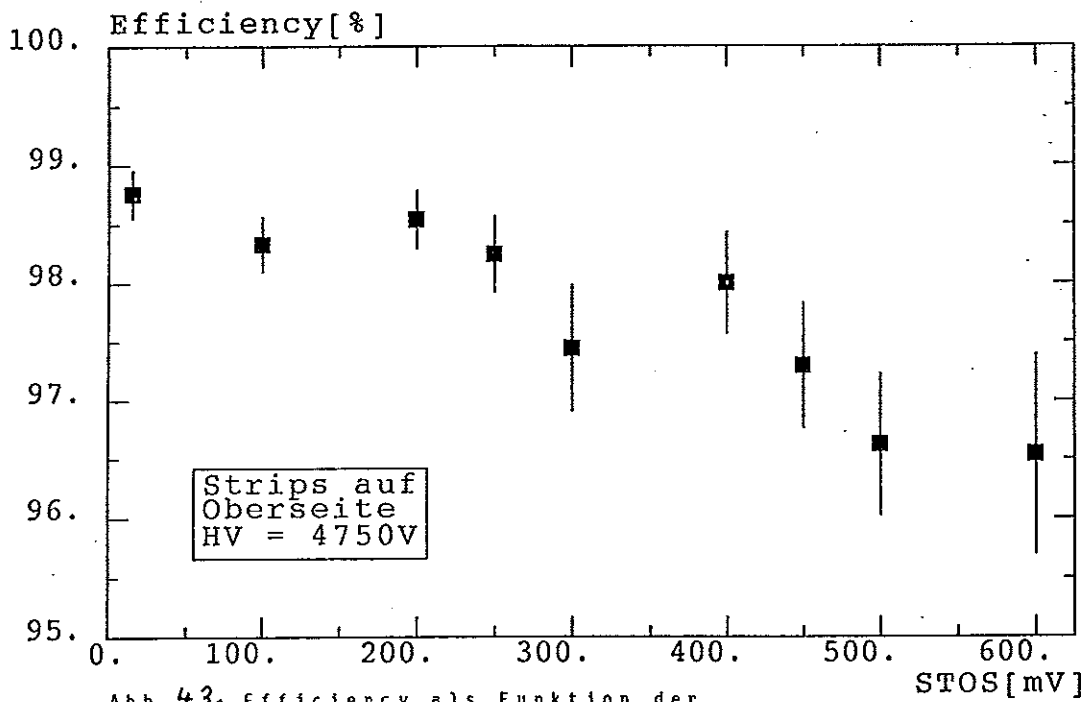


Abb. 43a Efficiency als Funktion der Ausleseschwelle für die Auslese auf der Oberseite - Mittelwert über alle Kanäle

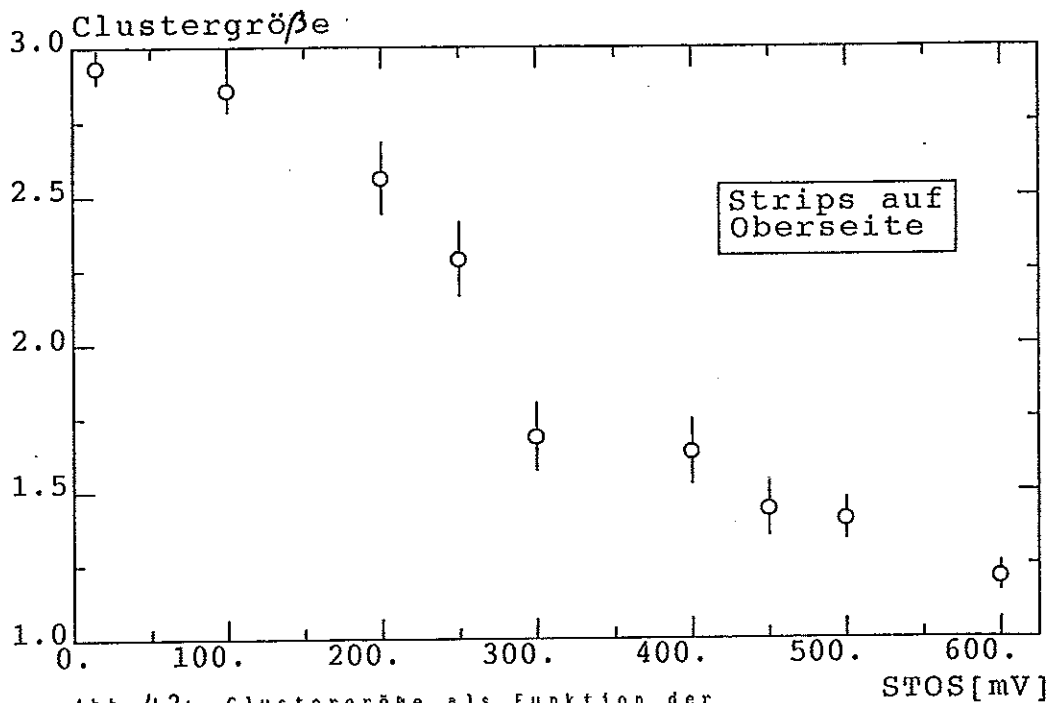


Abb. 43b Clustergröße als Funktion der Ausleseschwelle - Mittelwert über alle Kanäle für die Auslese auf der Oberseite

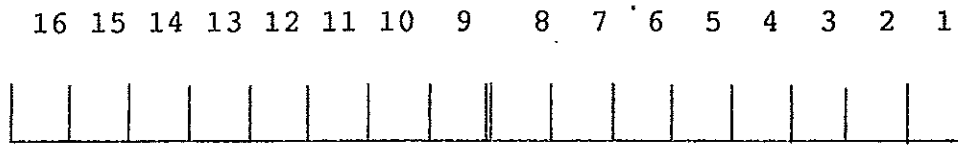


Abb. 44 Numerierung der Kanäle einer Streamer-Tube

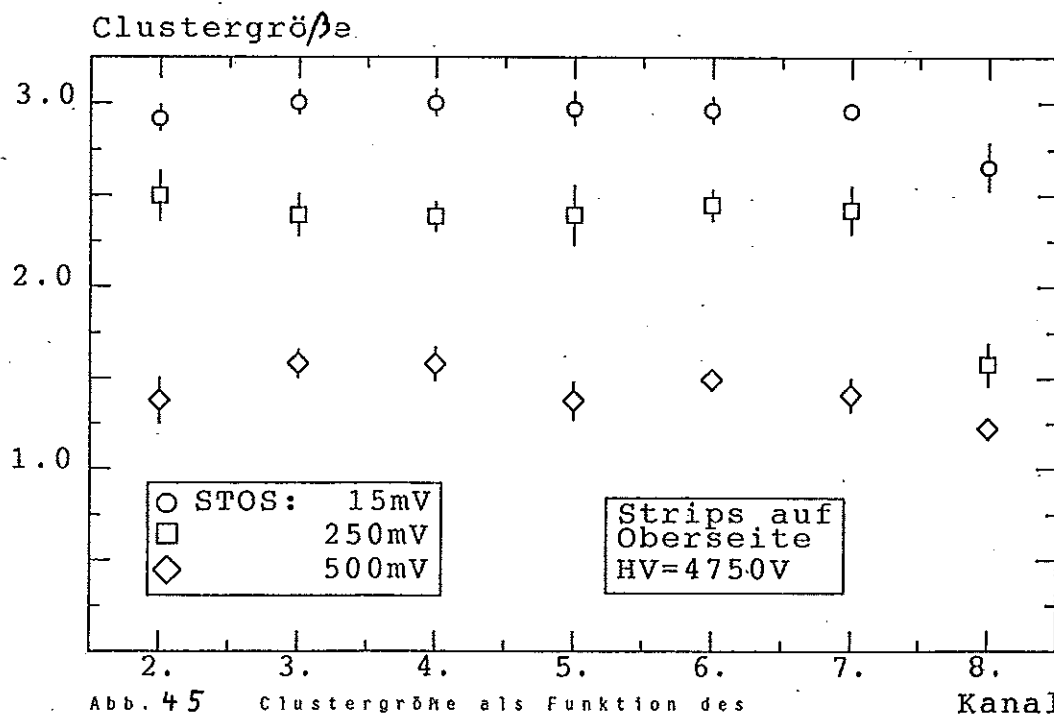


Abb. 45 Clustergröße als Funktion des Kanals - korrespondierende Kanäle einer Streamer-Tube sind zusammengefaßt

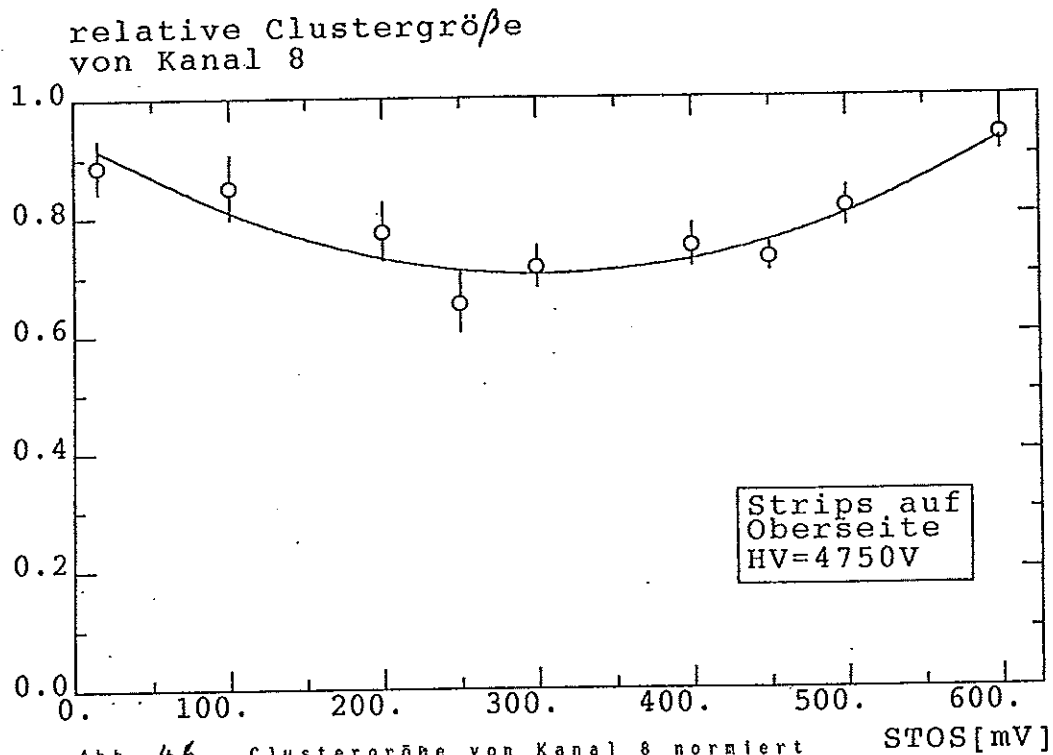


Abb. 46 Clustergröße von Kanal 8 normiert
auf die mittlere Clustergröße der
anderen Kanäle eines Profils

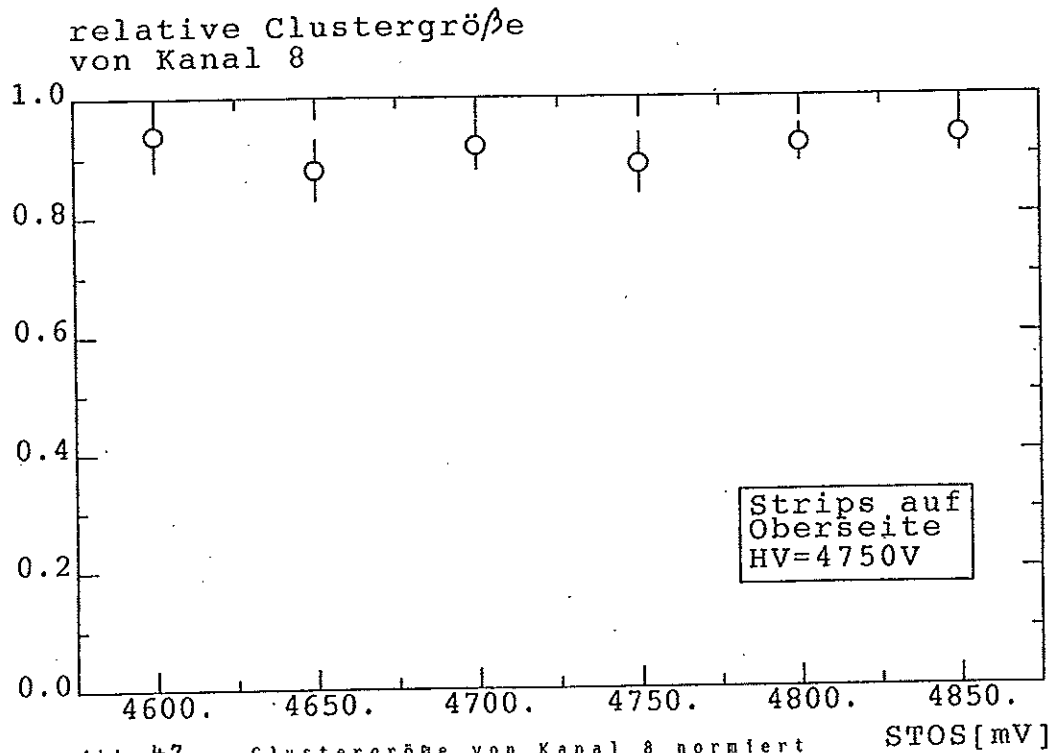


Abb. 47 Clustergröße von Kanal 8 normiert
auf die mittlere Clustergröße der
anderen Kanäle eines Profils

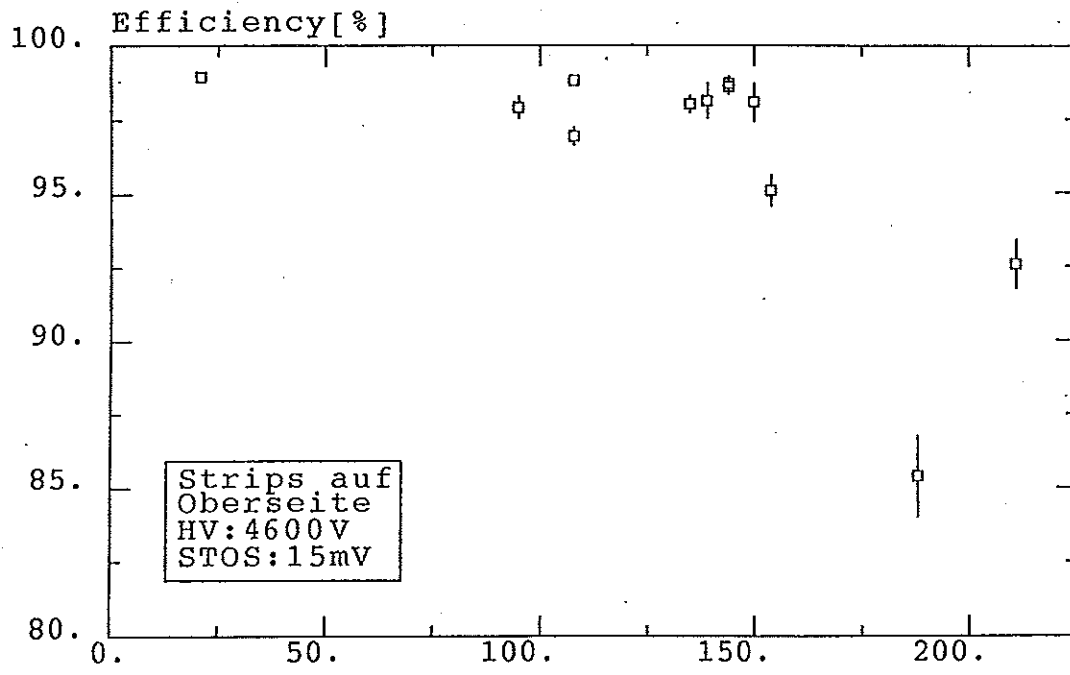


Abb. 48 Korrelation von Efficiency und Oberflächenwiderstand

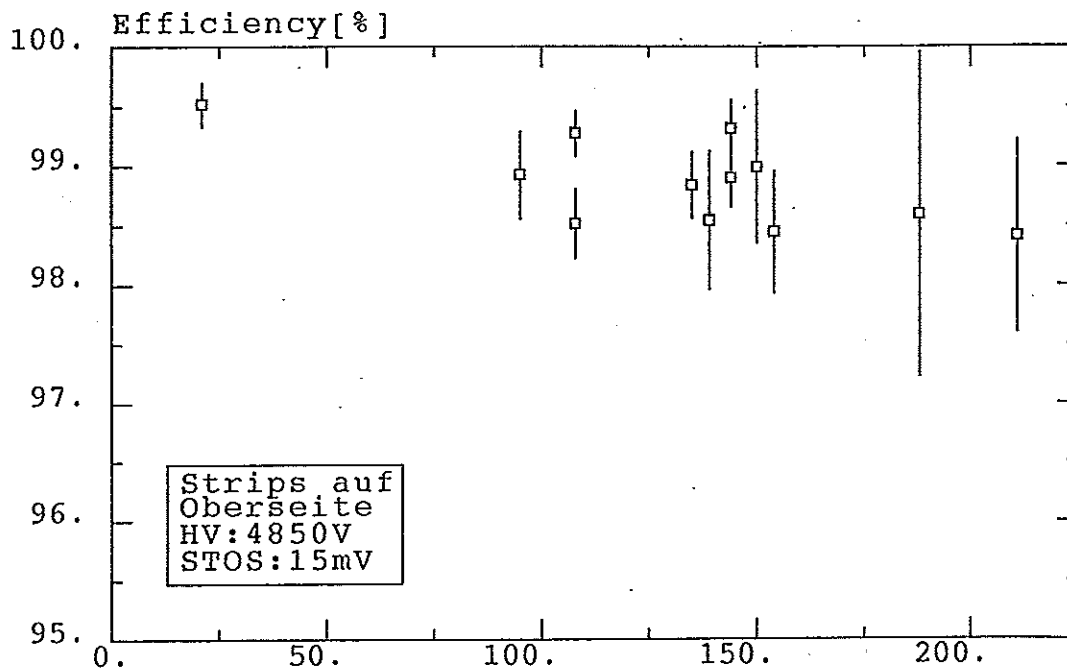


Abb. 49 Korrelation von Efficiency und Oberflächenwiderstand

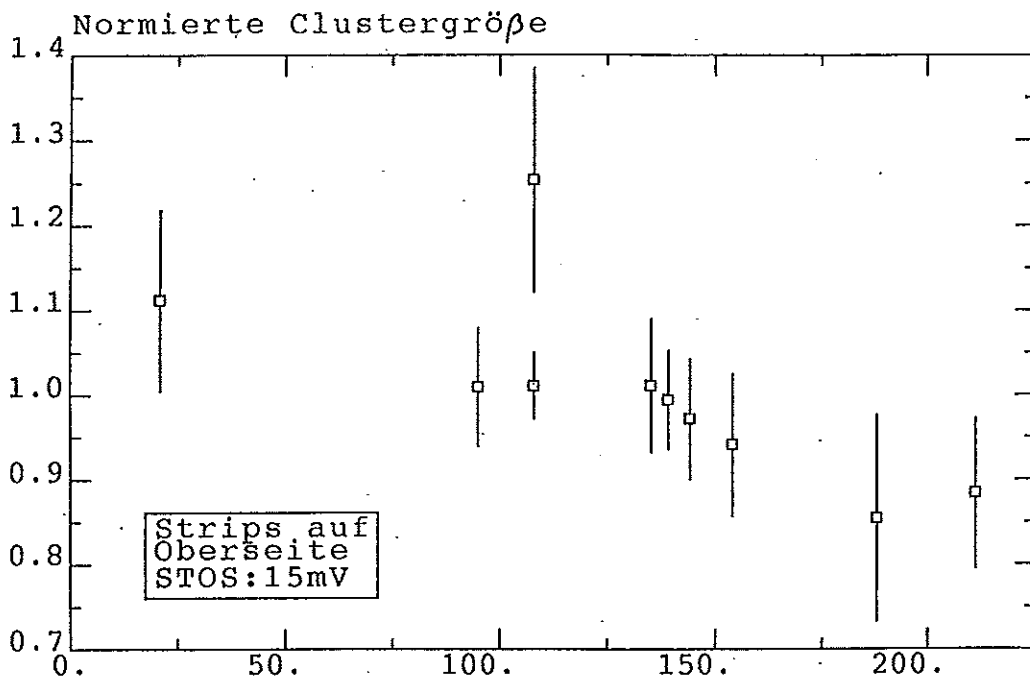


Abb. 50 Korrelation zwischen Clustergröße und Oberflächenwiderstand

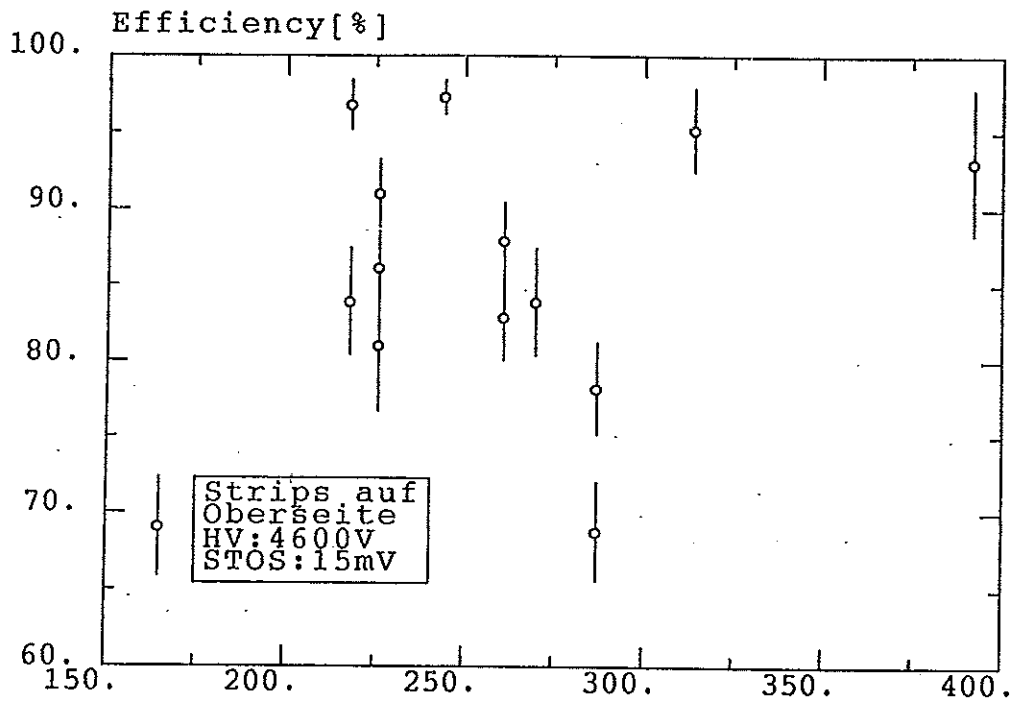


Abb. 51a Correlation von Efficiency und Oberflächenwiderstand für die Kanäle der Profile 7 und 8

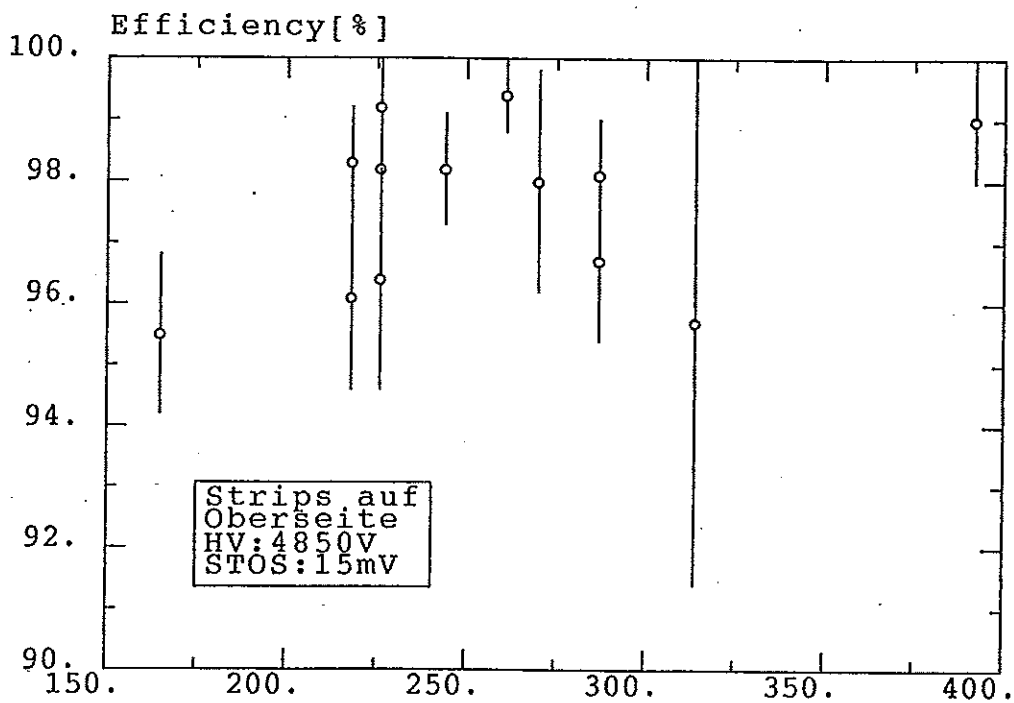


Abb. 51b Correlation von Efficiency und Oberflächenwiderstand für die Kanäle der Profile 7 und 8

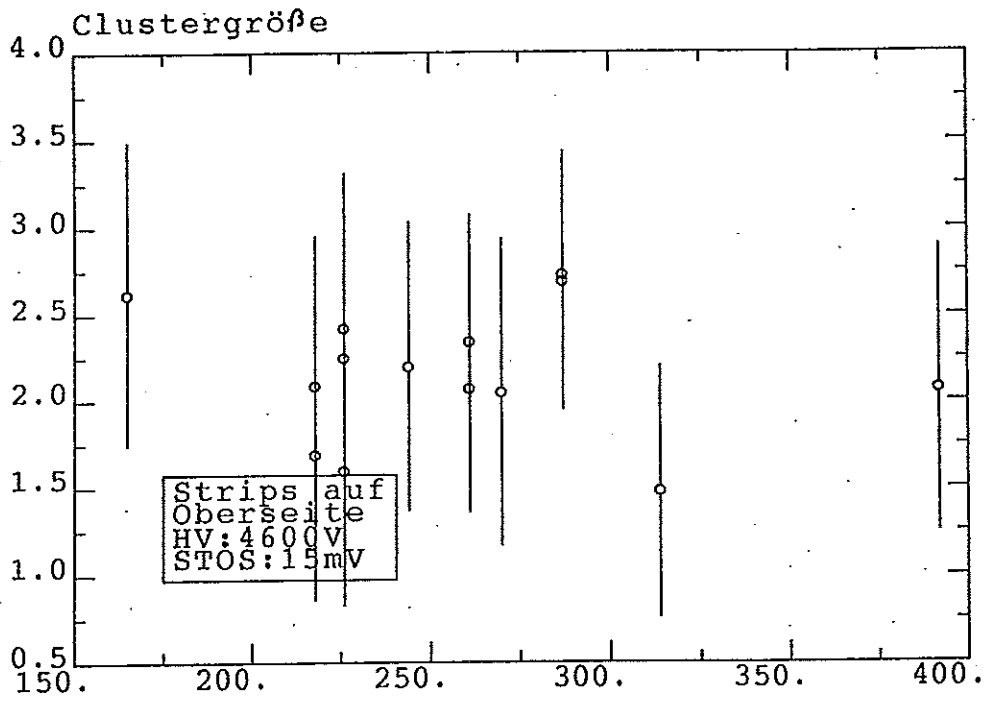


Abb. 52 Correlation von Clustergröße und Oberflächenwiderstand für die Kanäle der Profile 7 und 8

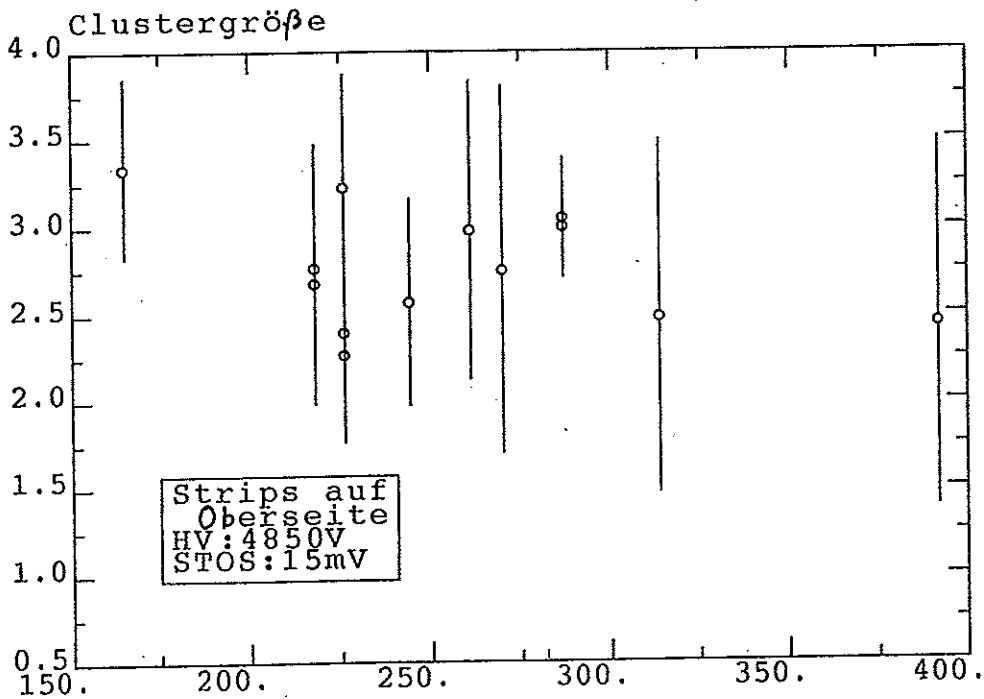


Abb. 52 Correlation von Clustergröße und Oberflächenwiderstand für die Kanäle der Profile 7 und 8

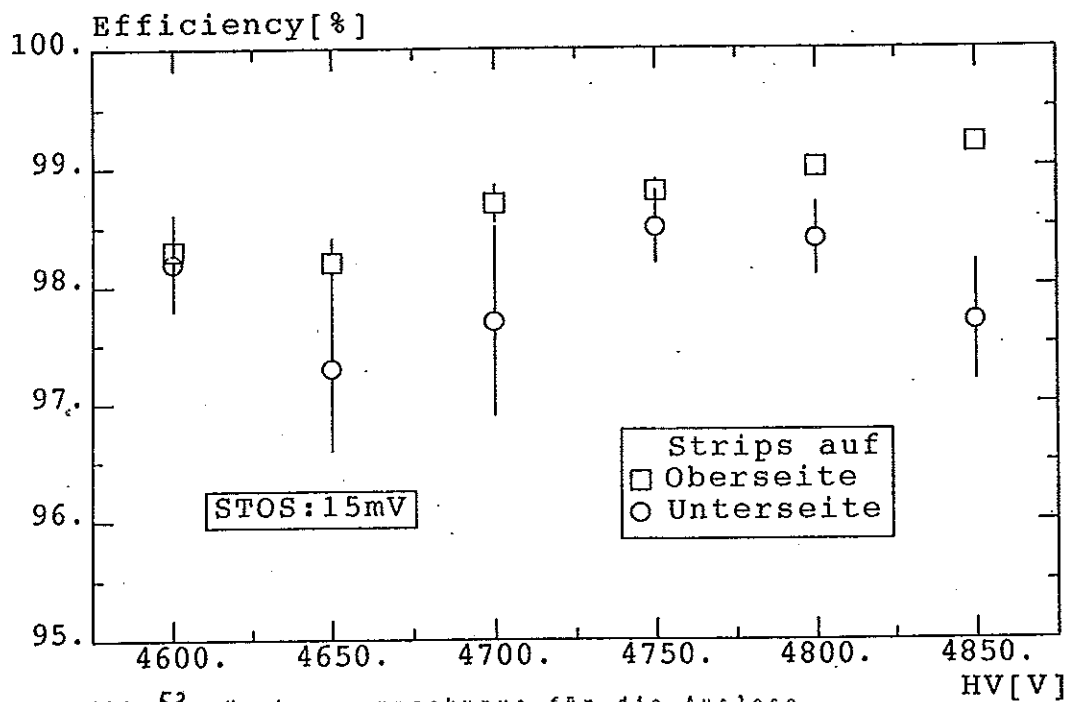


Abb. 53 Hochspannungskurve für die Auslese auf der Unterseite

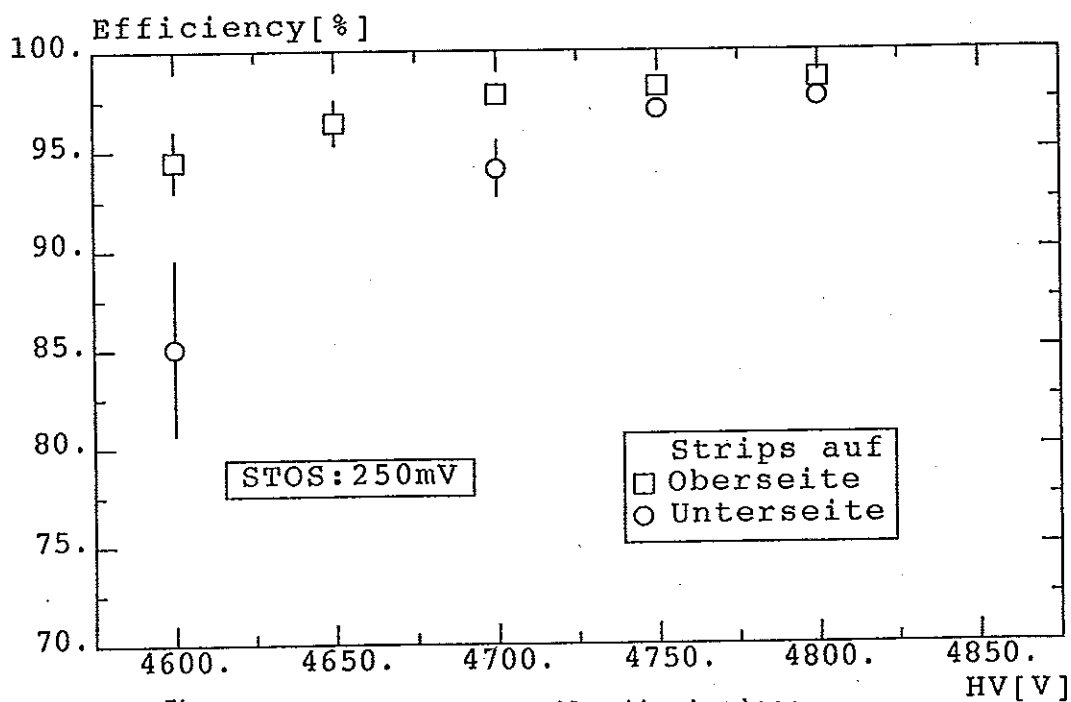


Abb. 54 Hochspannungskurve für die Auslese auf der Unterseite

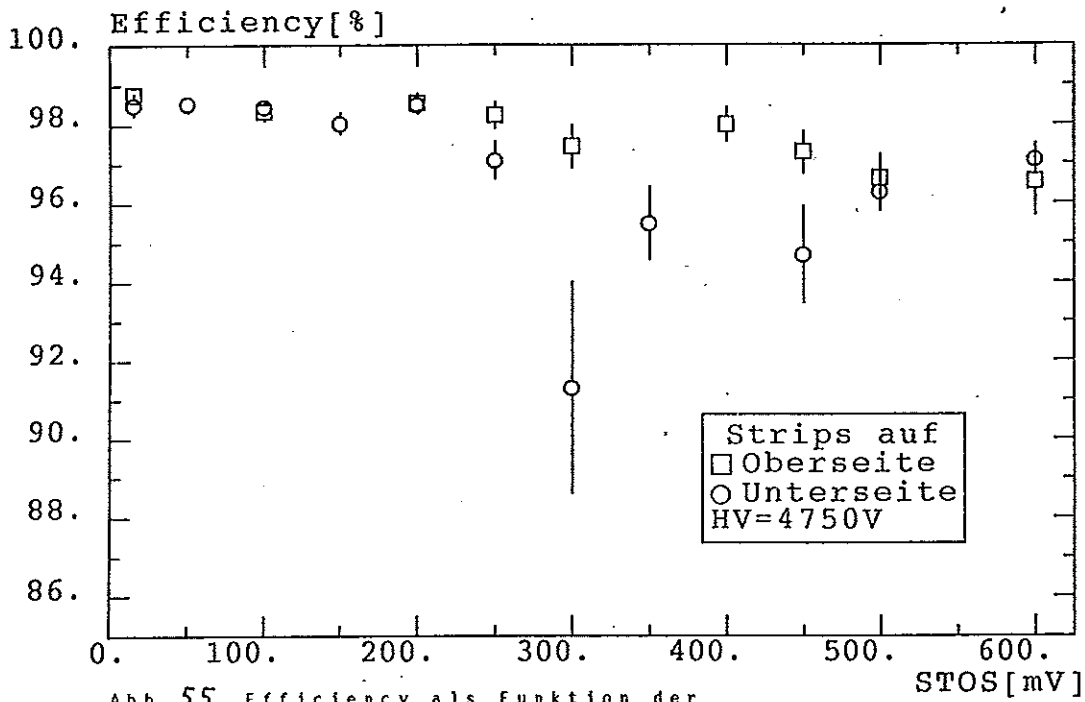


Abb. 55 Efficiency als Funktion der Ausleseschwelle für die Auslese auf der Unterseite

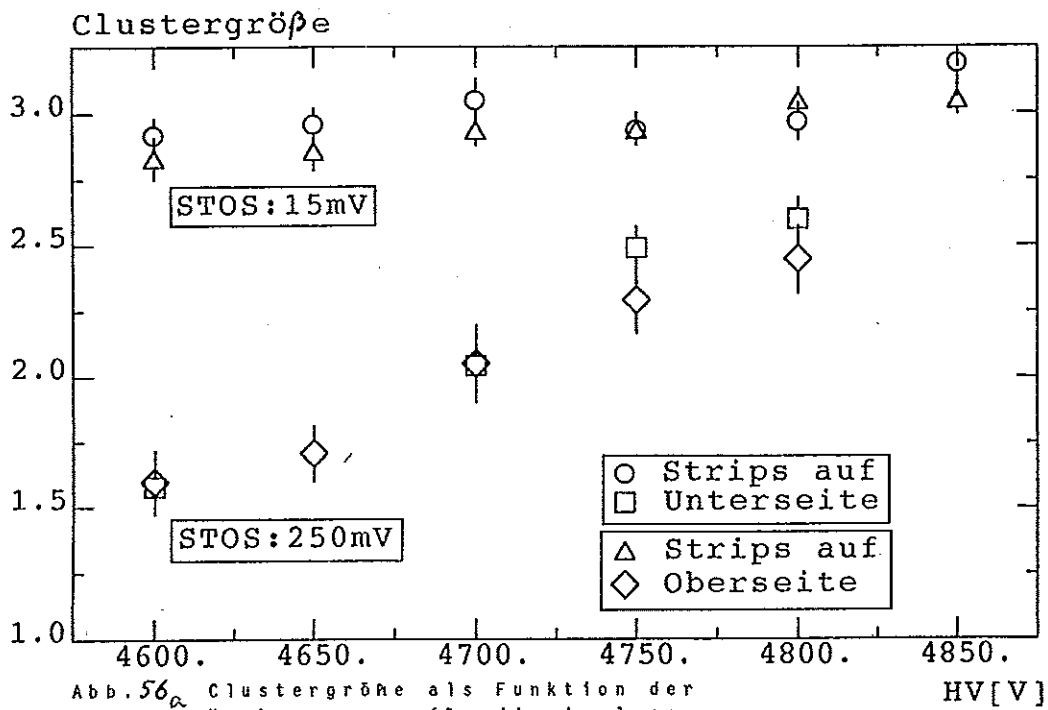


Abb. 56_a Clustergröße als Funktion der Hochspannung für die Auslese auf der Unterseite

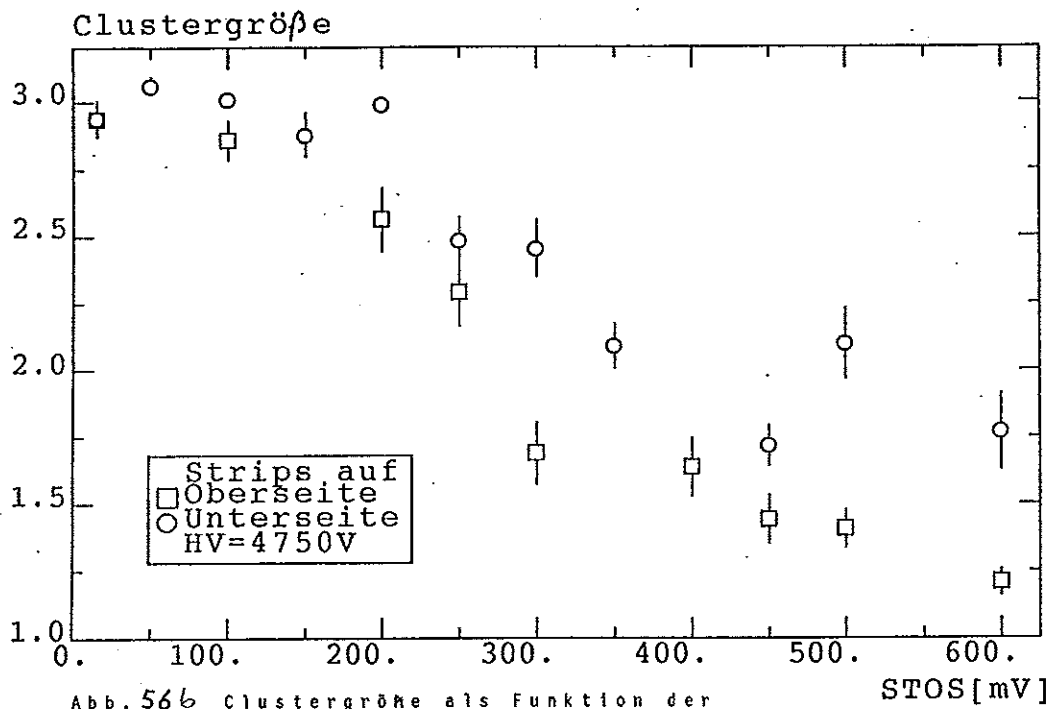


Abb. 566 Clustergröße als Funktion der Ausleseschwelle

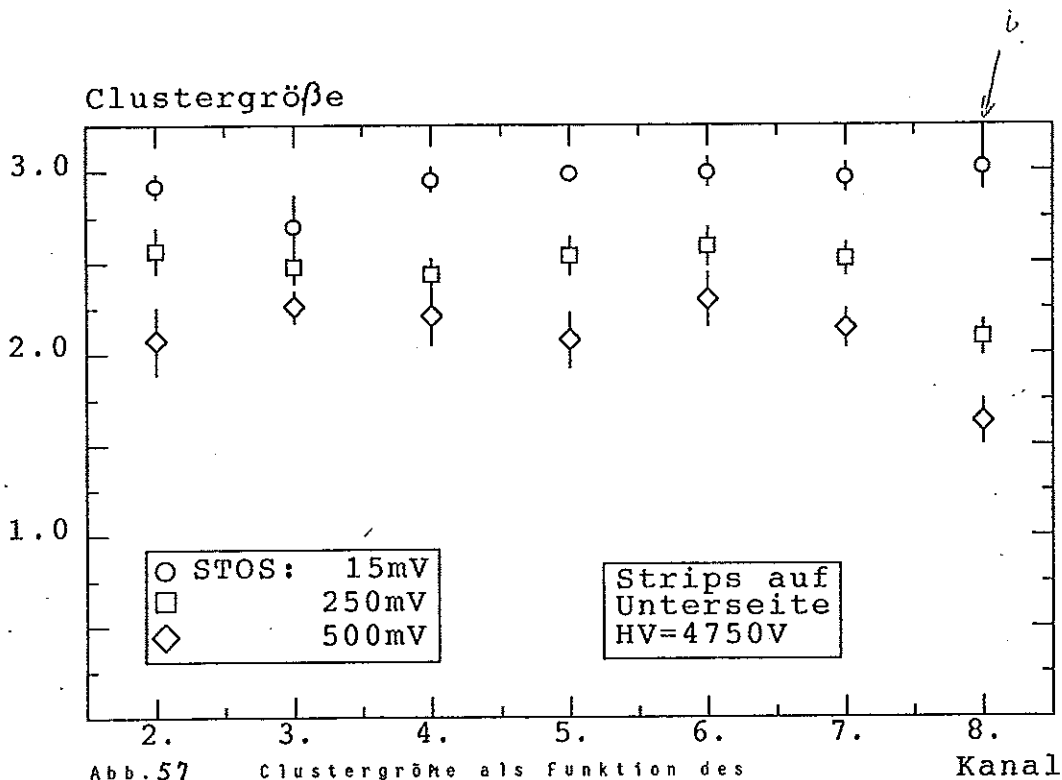


Abb. 57 Clustergröße als Funktion des Kanals - korrespondierende Kanäle einer Streamer-Tube sind zusammengefasst

Abb. 45

relative Clustergröße
von Kanal 8

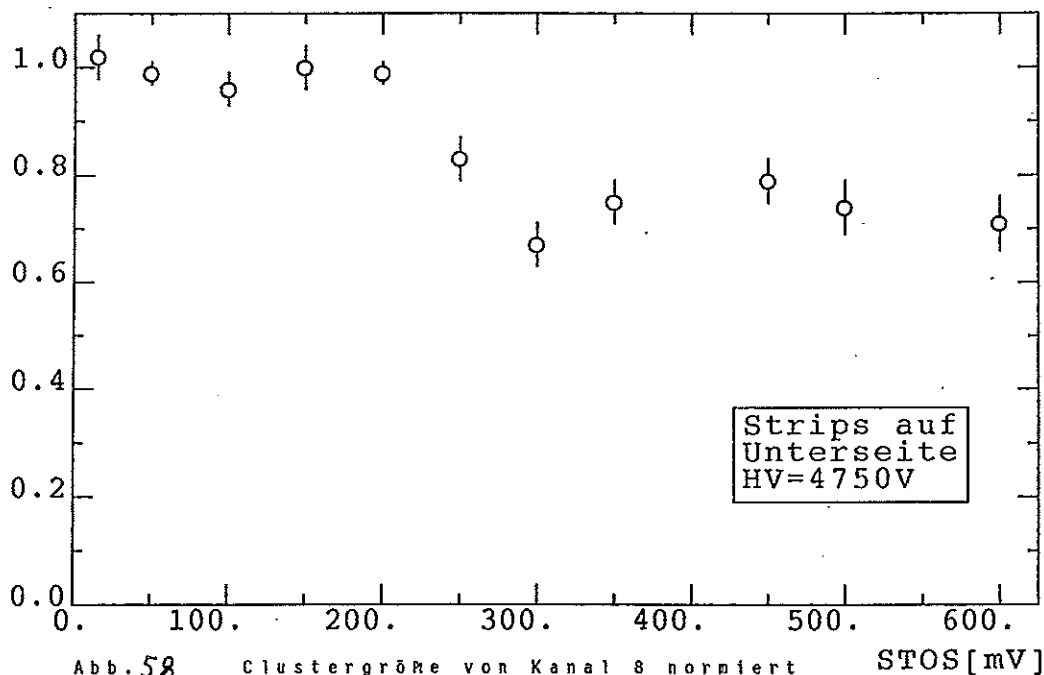


Abb. 58 Clustergröße von Kanal 8 normiert auf die mittlere Clustergröße der anderen Kanäle eines Profils

relative Clustergröße
von Kanal 8

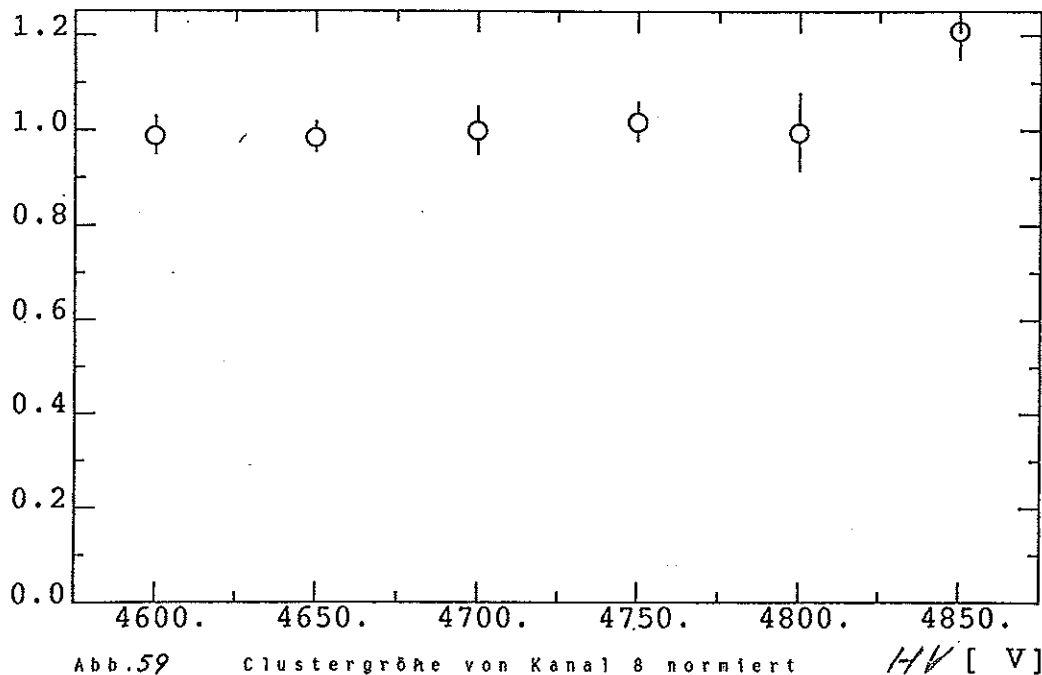
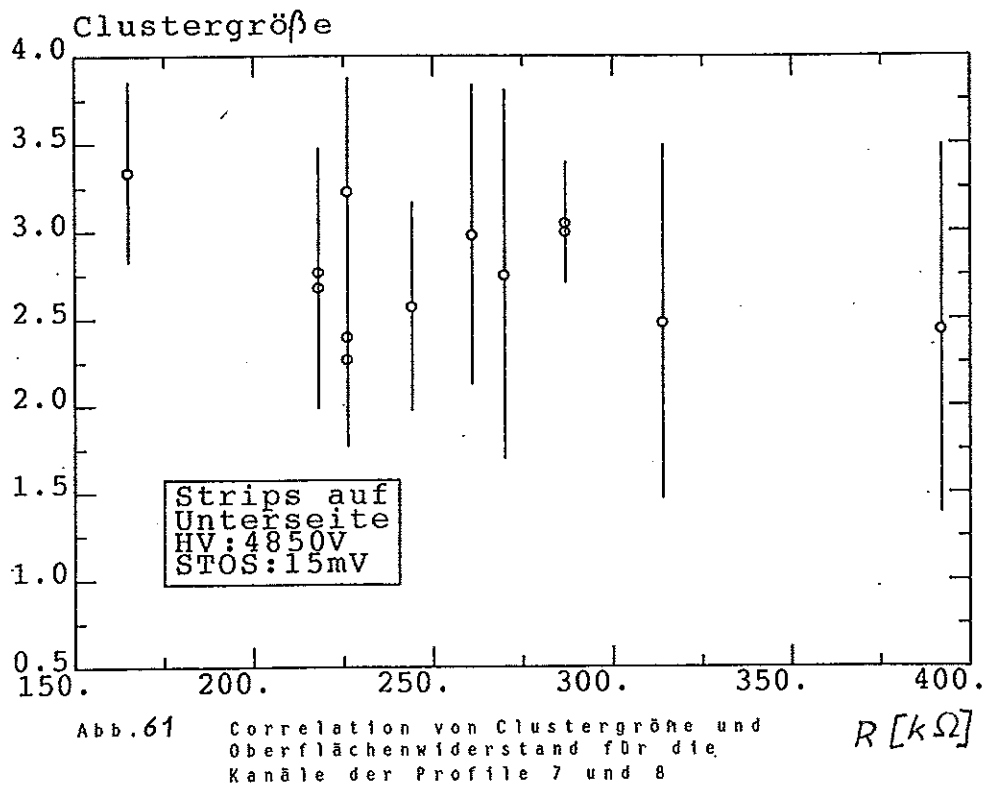
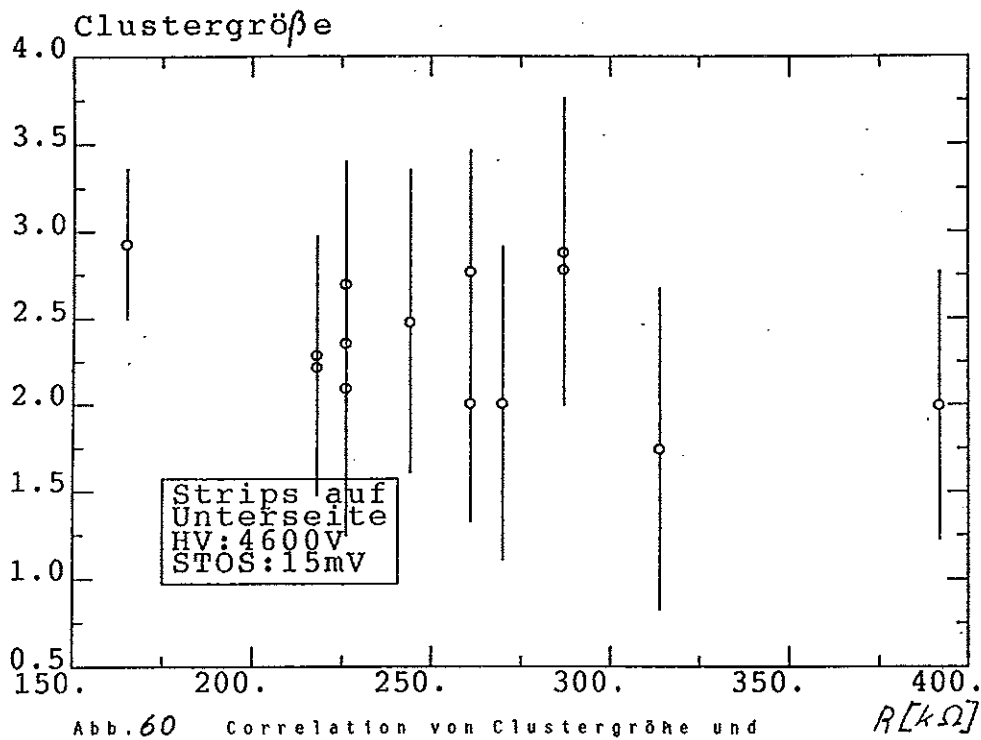


Abb. 59 Clustergröße von Kanal 8 normiert auf die mittlere Clustergröße der anderen Kanäle eines Profils



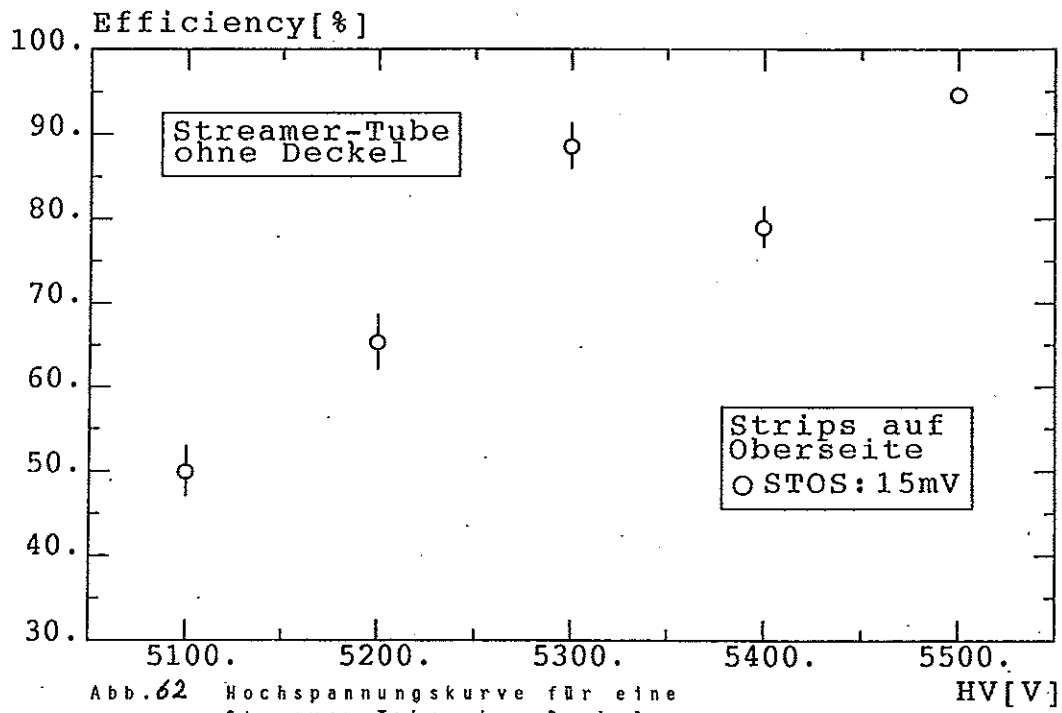


Abb. 62 Hochspannungskurve für eine Streamer-Tube ohne Deckel

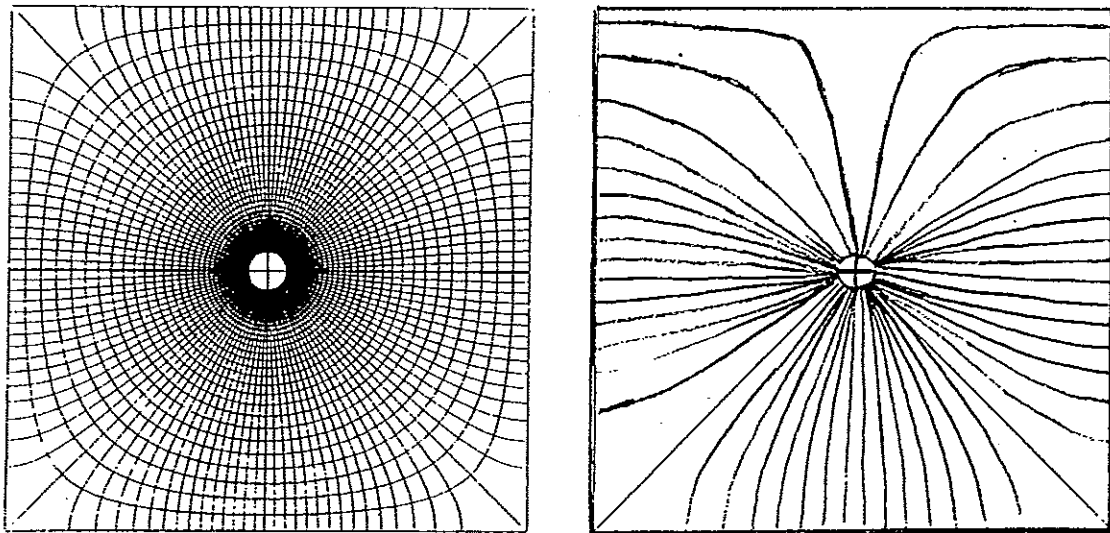


Abb. 63 Berechneter Feldlinienverlauf für eine Streamer-Tube mit Deckel und skizzierter Feldlinienverlauf für eine Streamer-Tube ohne Deckel /6/

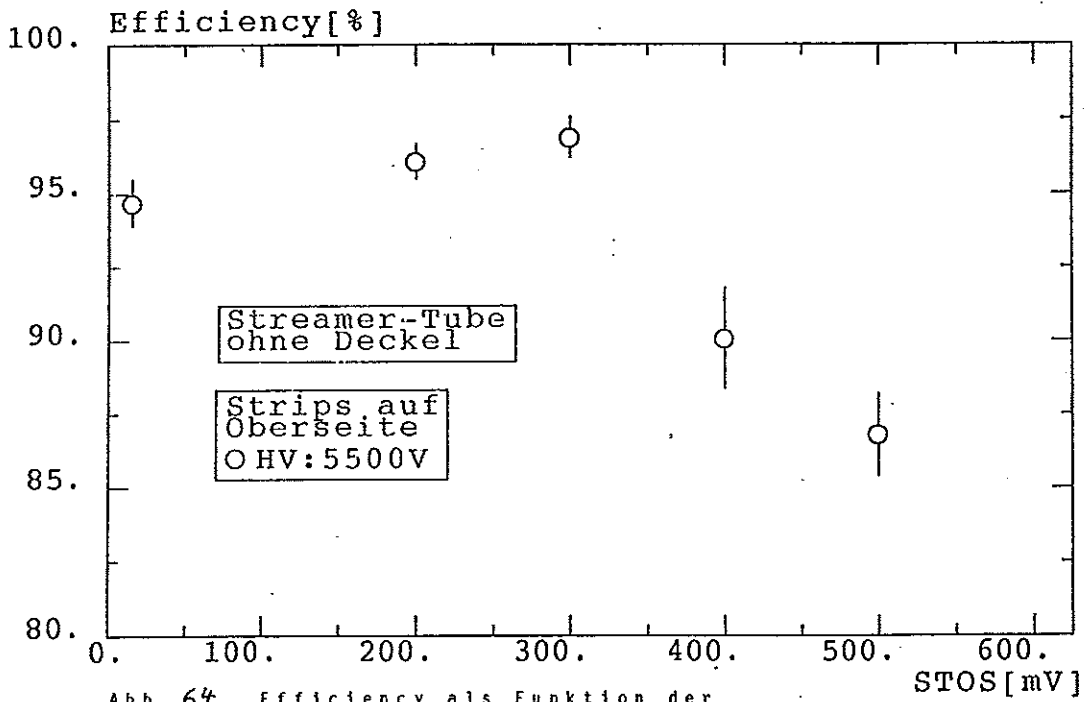


Abb. 64 Efficiency als Funktion der Ausleseschwelle für eine Streamer-Tube ohne Deckel

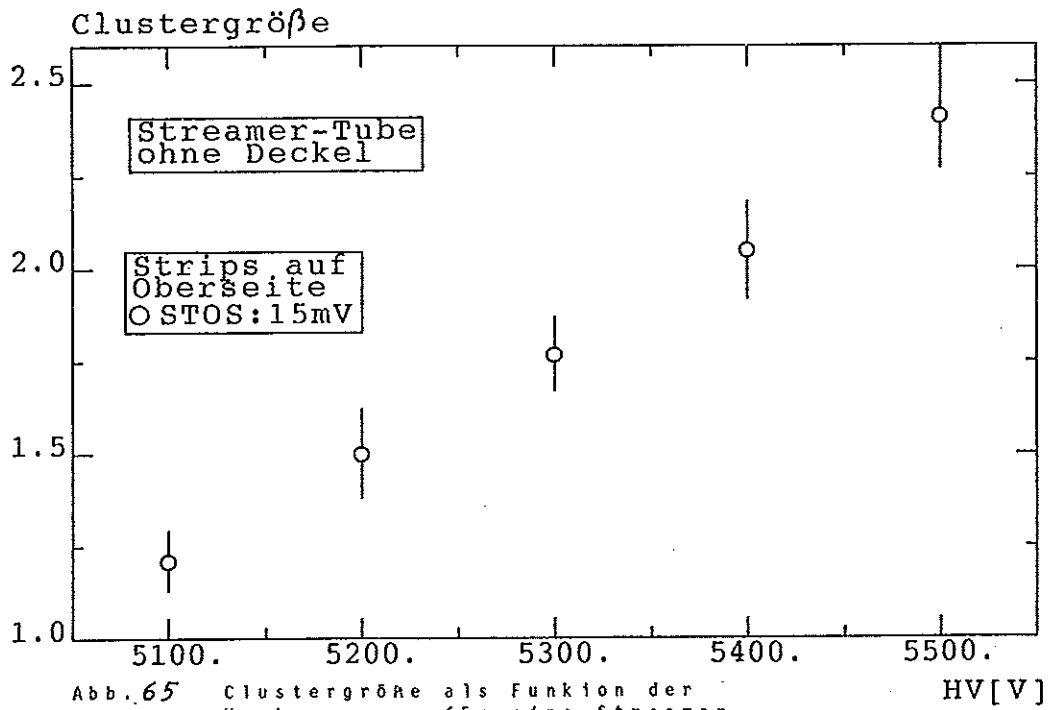


Abb. 65 Clustergröße als Funktion der Hochspannung für eine Streamer-Tube ohne Deckel

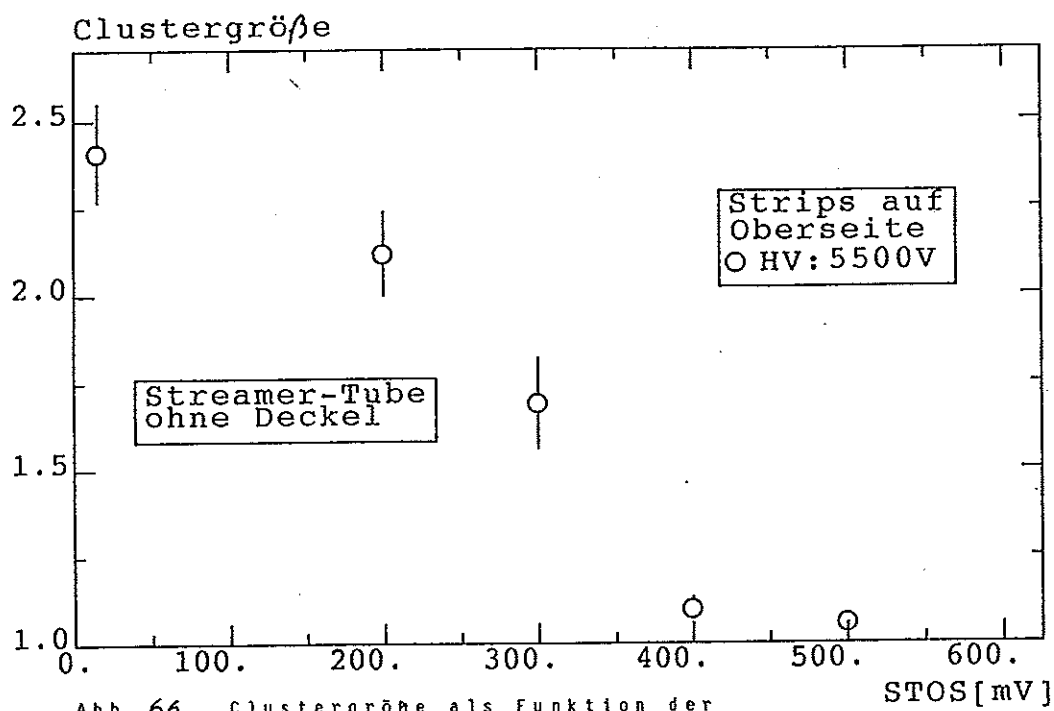


Abb. 66 Clustergröße als Funktion der Ausleseschwelle für eine Streamer-Tube ohne Deckel

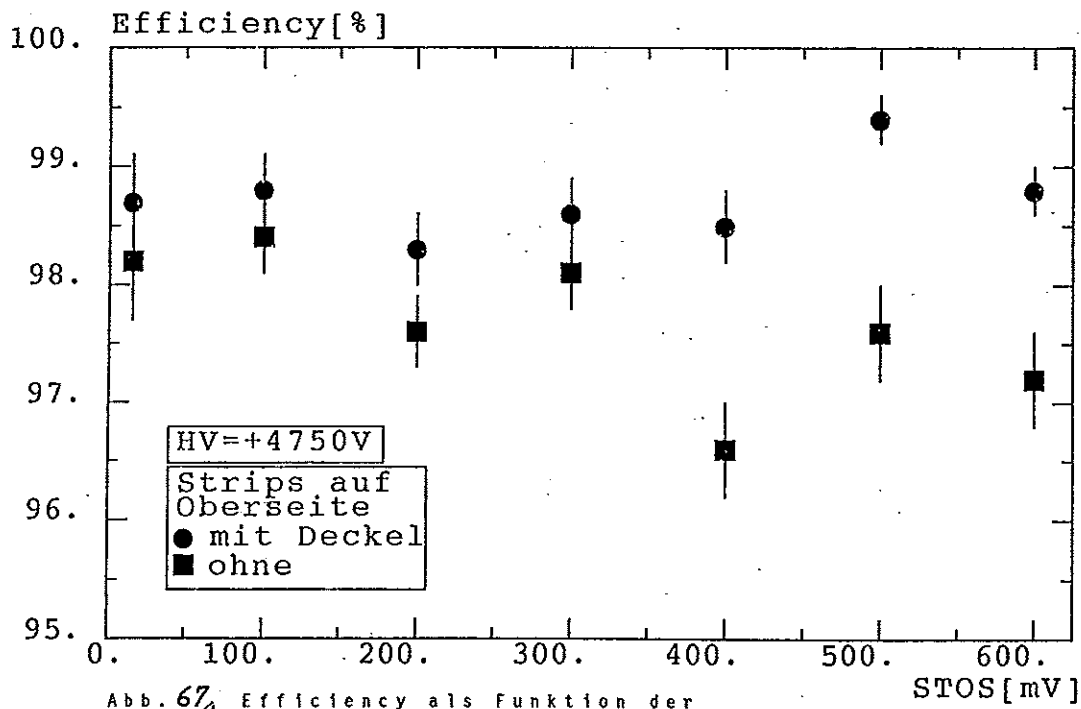


Abb. 67a Efficiency als Funktion der Ausleseschwelle für die Auslese auf der Oberseite

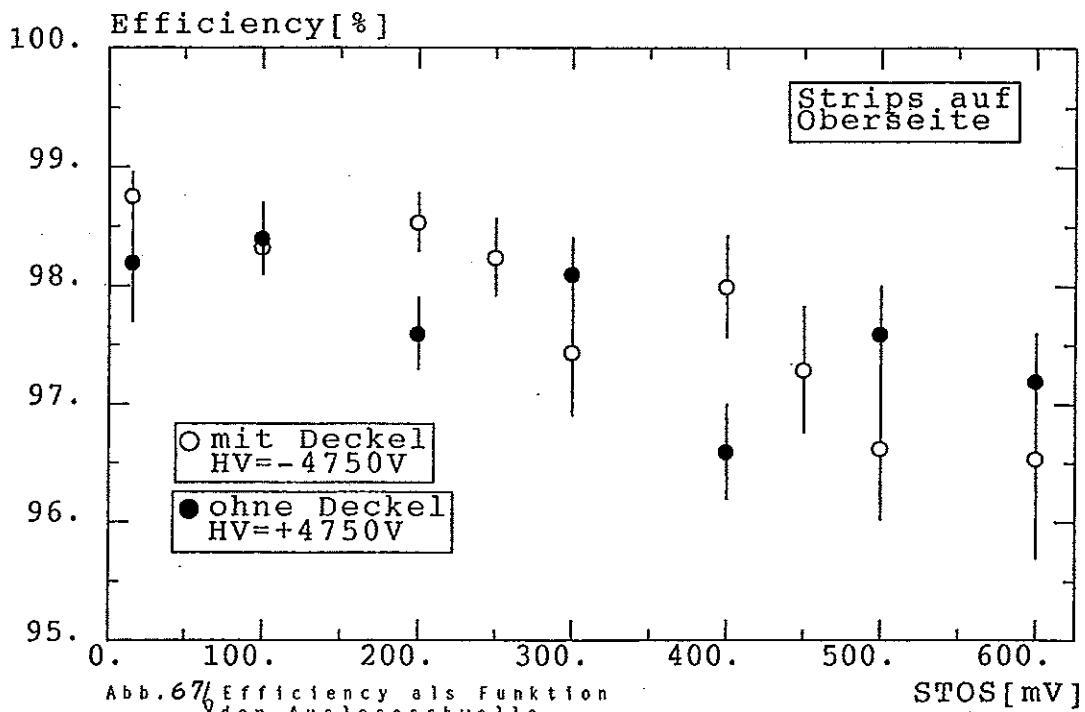
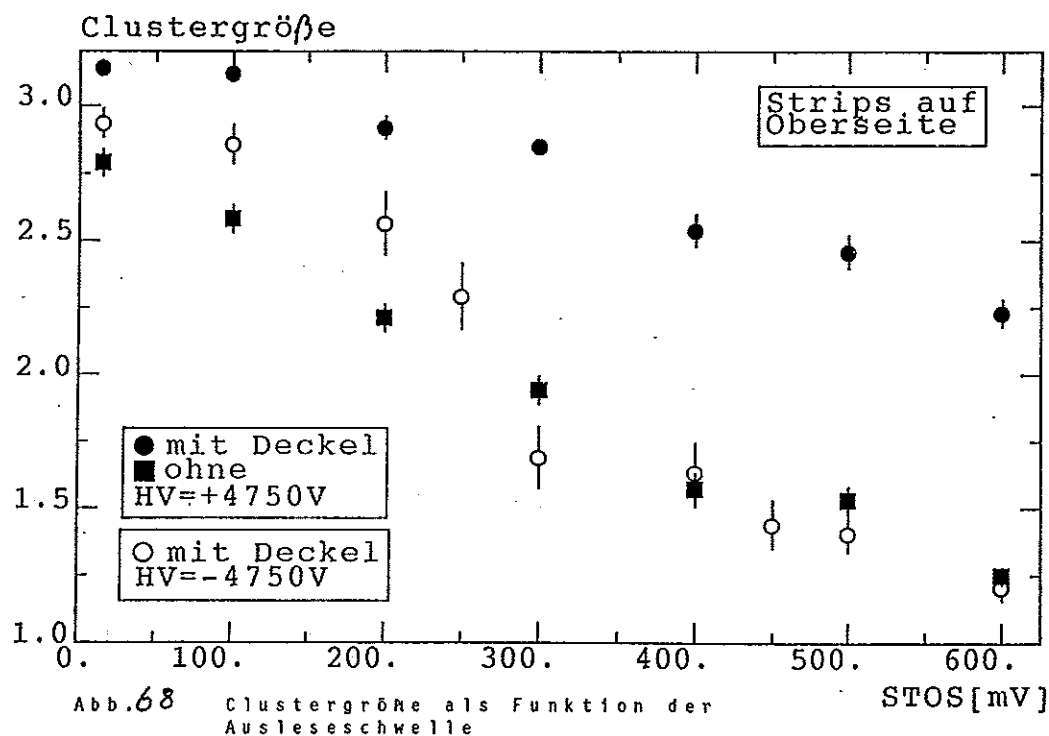


Abb. 67b Efficiency als Funktion der Ausleseschwelle



Streamer-Tube

```

...*****..*****. 1 . Kanal ohne Signal
...*****..***** 2
...***.***...*. 3 * Kanal mit Signal
**.***.***** 4
***** 5
*****... 6
*****.. 7
*****. 8

```

Abb. 69 Ereignis mit einer großen Zahl gefeuerter Kanäle

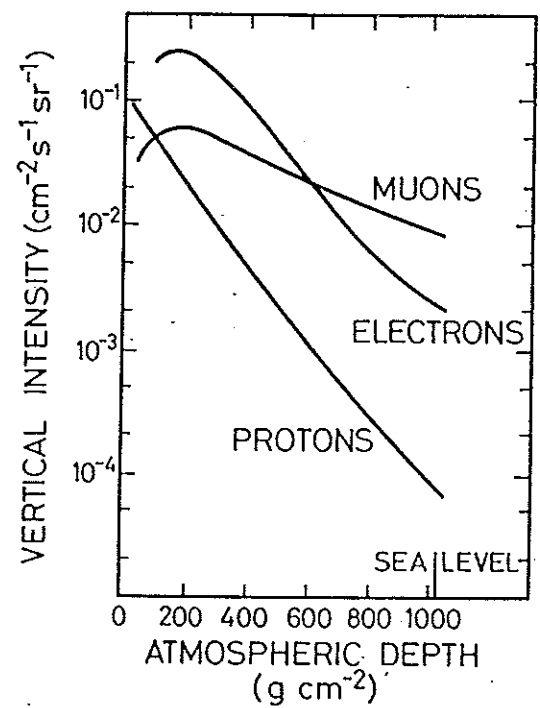
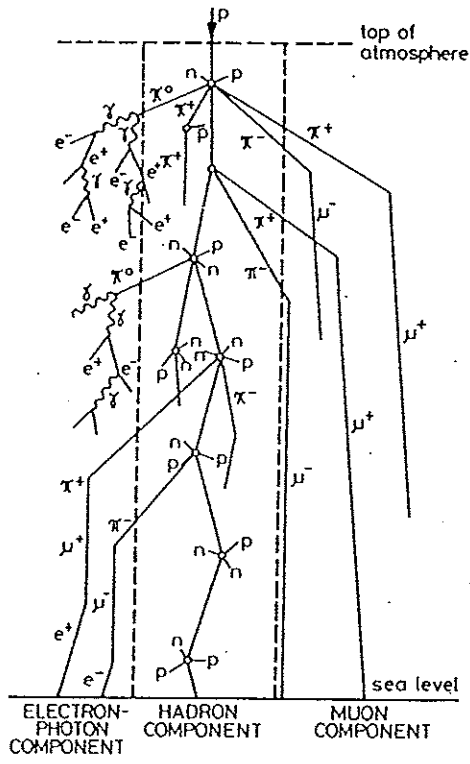


Abb. 70 Entwicklung eines Teilchenschauers in der Atmosphäre

Abb. 71 relativer Anteil der einzelnen Komponenten eines atmosphärischen Schauers

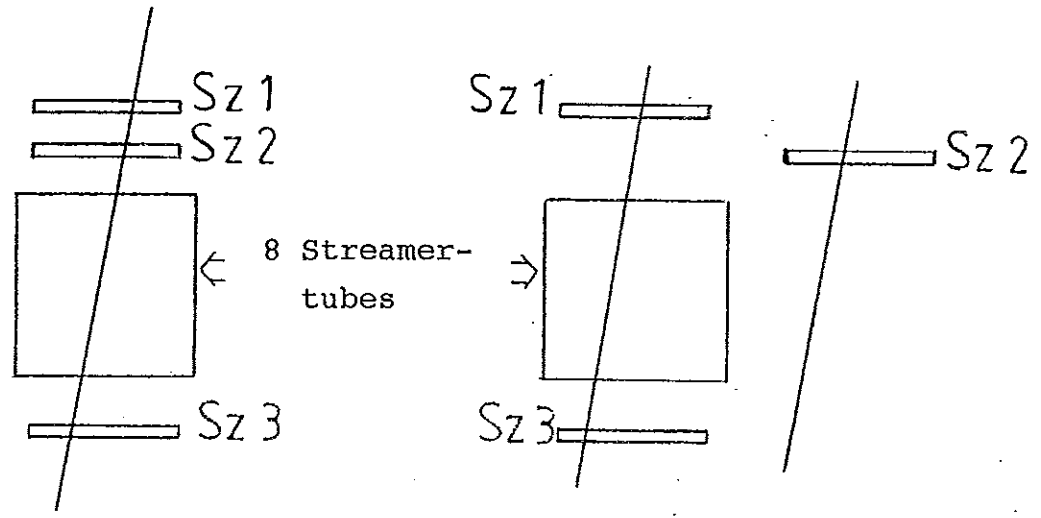


Abb. 72 Triggeranordnung 1 und Triggeranordnung 2

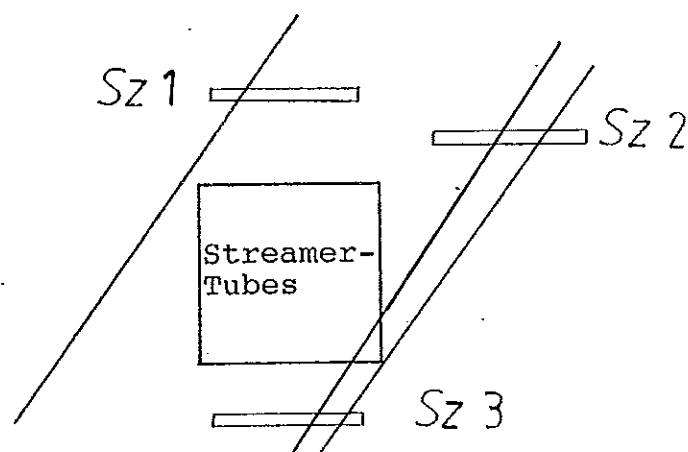
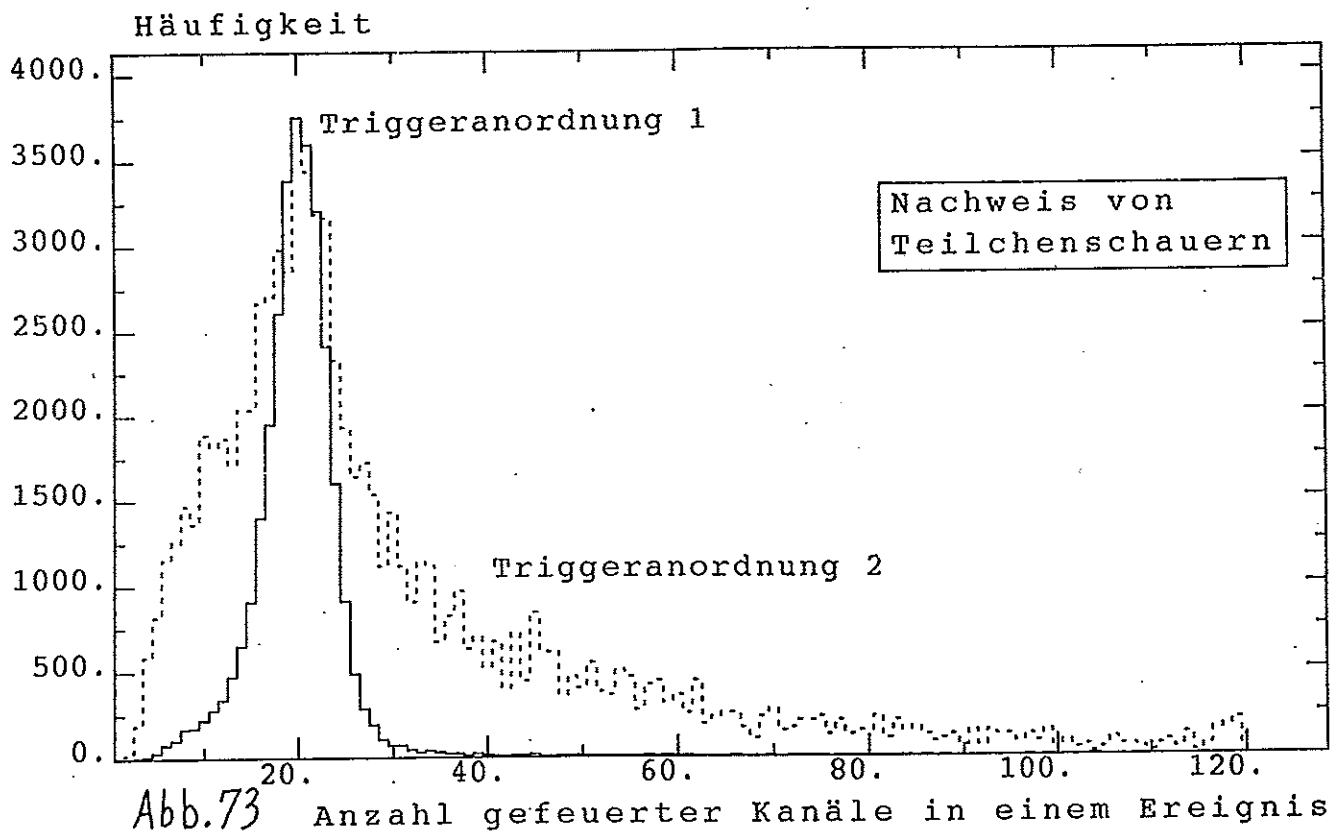


Abb. 74 Spuren, die einen Trigger auslösen aber nur wenige Kanäle durchqueren

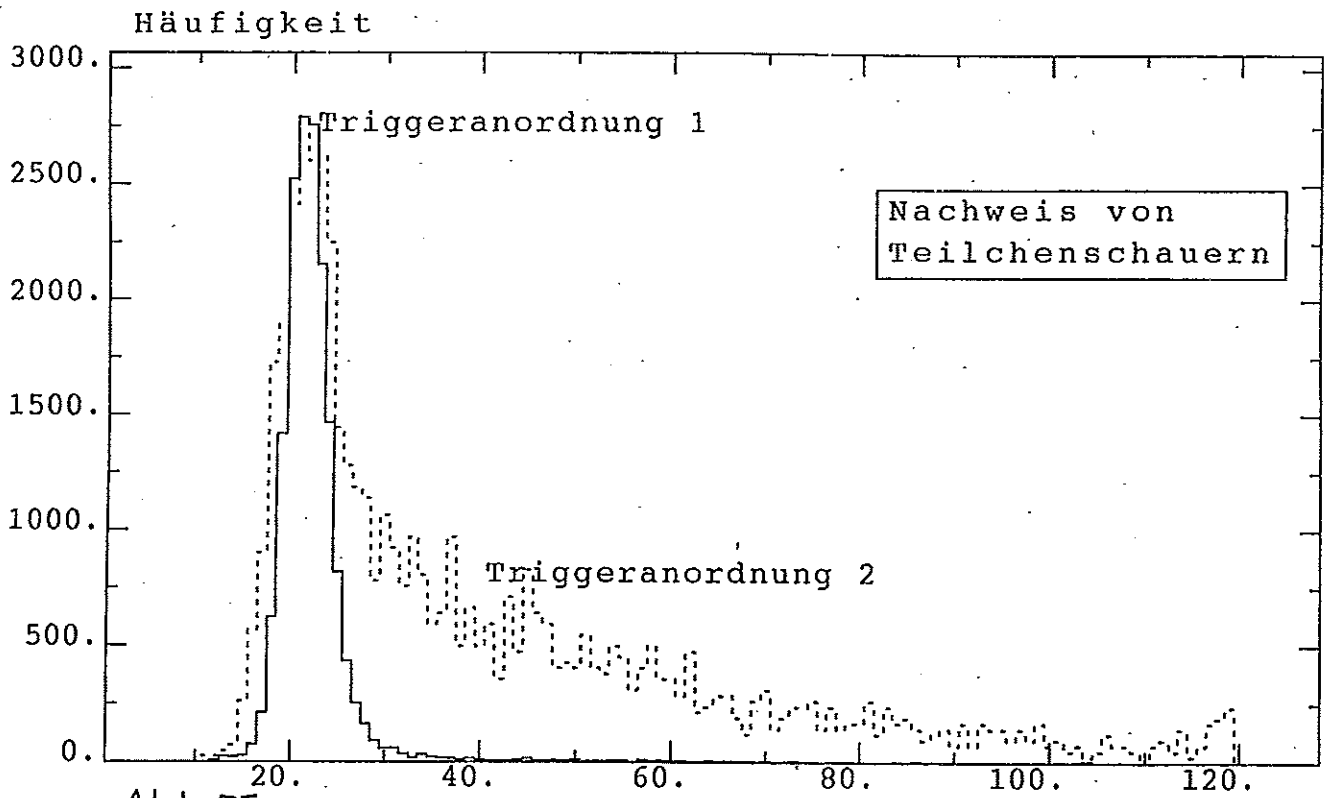


Abb.75 Anzahl gefeuerter Kanäle in einem Ereignis

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Senkrechter Schnitt durch den H1-Detektor längs der Strahlachse /1/	65
Abb. 2	Bethe-Bloch-Formel : Energieverlust durch Ionisation, normiert auf den Minimalwert /2/	66
Abb. 3	Die verschiedenen Beiträge zum Massenabsorptionskoeffizienten für Photonen in Materie /2/	66
Abb. 4	Schematischer Aufbau eines Gasdetektors /6/	67
Abb. 5	Arbeitsbereiche eines Gasdetektors /2/	67
Abb. 6	Erster Townsend Koeffizient für verschiedene Edelgase /3/	68
Abb. 7	Tropfenform einer Townsend Lawine /3/	68
Abb. 8	Ladungsspektrum zur Veranschaulichung des Übergangs vom Proportionalmode in den Streamer-Mode /4/	69
Abb. 9	Schwerpunkte der Ladungsspektren aus Abb.8 als Funktion der Hochspannung /4/	69
Abb. 10	Photographien von Streamern zur Veranschaulichung deren Orientierung /5/	70
Abb. 11	Abhängigkeit des Übergangs vom Proportionalmode in den Streamer-Mode von der primär deponierten Ladung /4/	69
Abb. 12	Schematische Darstellung der Entwicklung eines Streamers /5/	70
Abb. 13	Ausschnitt aus einer Streamer-Tube /1/	71
Abb. 14	Anteil der auf den Strips induzierten Ladung für einen Streamer bei 0 cm. Das Profil ist nicht verschlossen /6/	71
Abb. 15	Anteil der auf einem Strip induzierten Ladung für ein Profil mit 1 M Ω Deckel und einen Streamer bei 0 cm /6/	72

Abb. 16	Blockdiagramm des experimentellen Aufbaus	72
Abb. 17	Streamer-Tube im Gehäuse	73
Abb. 18	Gestell zur Positionierung der Streamer-Tubes und die Szintillatoren	74
Abb. 20	offene Streamer-Tube mit Strips auf der Oberseite /6/	75
Abb. 21	Blockschaltbild einer Auslesekarte /12/	76
Abb. 22	Verschaltung der Auslesekarten und des Controllers /12/	77
Abb. 24	Orientierung des Streamers, bei der zwei Kanäle feuern	77
Abb. 26,27,28	Verteilung der Häufigkeit, mit der die rekonstruierte x-Koordinate von der gemessenen x-Koordinate um dx abweicht für 4,5 und 6 zur Rekonstruktion benutzte Streamer-Tubes	78
Abb. 29	Efficiencies der Kanäle des Streamer-Tube Systems für Monte-Carlo Ereignisse	79
Abb. 30	Efficiencies der Kanäle des Streamer-Tube Systems für reale Ereignisse	79
Abb. 31	Efficiencies der Kanäle des Streamer-Tube Systems nach Multiplikation mit einem Korrekturfaktor	80
Abb. 32	Spurlängenverteilung für Monte-Carlo Ereignisse	81
Abb. 33	Teilchenspür mit kleiner Spurlänge in einem Kanal	81
Abb. 34	Häufigkeitsverteilung der Anzahl in einem Kanal primär erzeugter Elektron-Ion-Paare	82
Abb. 35	Häufigkeit der Ereignisse, in denen eine Mindestzahl primärer Elektron-Ion-Paare erzeugt wird	83
Abb. 36	Hochspannungskurve für die Kanäle von Profil 7 Beispiel für die Berechnung von Mittelwert und Fehler der Efficiency	84

Abb. 37	Hochspannungskurve für die Kanäle von Profil 12 Beispiel für die Berechnung von Mittelwert und Fehler der Efficiency	84
Abb. 38	Hochspannungskurven für drei Ausleseschwellen- Mittelwert über die Efficiencies aller Kanäle für die Auslese auf der Oberseite	85
Abb. 39	Clustergröße als Funktion der Hochspannung für die Kanäle von Profil 7 bzw. Profil 12	85
Abb. 40	Clustergröße als Funktion der Hochspannung für drei Ausleseschwellen - Mittelwert über alle Kanäle für die Auslese auf der Oberseite	86
Abb. 41	Efficiency als Funktion der Ausleseschwelle für die Auslese auf der Oberseite - zwei Profile mit unterschiedlichem Verhalten	87
Abb. 42	Clustergröße als Funktion der Ausleseschwelle	87
Abb. 43	Efficiency bzw. Clustergröße als Funktion der Ausleseschwelle für die Auslese auf der Ober- seite - Mittelwert über alle Kanäle	88
Abb. 44	Numerierung der Kanäle einer Streamer-Tube	89
Abb. 45	Clustergröße als Funktion des Kanals - korres- pondierende Kanäle einer Streamer-Tube sind zu- sammengefaßt	89
Abb. 46	Clustergröße von Kanal 8, normiert auf die mitt- lere Clustergröße der anderen Kanäle eines Profils, als Funktion der Ausleseschwelle	90
Abb. 47	Clustergröße von Kanal 8, normiert auf die mitt- lere Clustergröße der anderen Kanäle eines Profils, als Funktion der Hochspannung	90
Abb. 48	Korrelation von Efficiency und Oberflächenwider- stand für die Auslese auf der Oberseite bei HV = 4600 V	91
Abb. 49	Korrelation von Efficiency und Oberflächenwider- stand für die Auslese auf der Oberseite bei	91

HV = 4850 V

- Abb. 50 Korrelation zwischen Clustergröße und Oberflächenwiderstand für die Auslese auf der Oberseite 92
- Abb. 51 Korrelation von Efficiency und Oberflächenwiderstand für die Kanäle der Profile 7 und 8 für die Auslese auf der Oberseite bei HV = 4600 V und HV = 4850 V 93
- Abb. 52 Korrelation von Clustergröße und Oberflächenwiderstand für die Kanäle der Profile 7 und 8 für die Auslese auf der Oberseite bei HV = 4600 V und HV = 4850 V 94
- Abb. 53 Efficiency in Abhängigkeit von der Hochspannung, 15 mV Ausleseschwelle 95
- Abb. 54 Efficiency in Abhängigkeit von der Hochspannung, 250 mV Ausleseschwelle 95
- Abb. 55 Efficiency als Funktion der Ausleseschwelle 96
- Abb. 56 Clustergröße als Funktion der Hochspannung und der Ausleseschwelle 96
- Abb. 57 Clustergröße für verschiedene Kanäle 97
- Abb. 58 Clustergröße von Kanal 8 als Funktion der Ausleseschwelle 98
- Abb. 59 Clustergröße von Kanal 8 als Funktion der Hochspannung 98
- Abb. 60 Korrelation von Clustergröße zu Oberflächenwiderstand bei 4600 V 99
- Abb. 61 Korrelation von Clustergröße zu Oberflächenwiderstand bei 4850 V 99
- Abb. 62 Efficiency als Funktion der Hochspannung für eine Streamer-Tube ohne Deckel 100
- Abb. 63 Berechneter Feldlinienverlauf für eine Streamer-Tube mit Deckel und skizzierter Feldlinienverlauf für eine Streamer-Tube 100

	ohne Deckel /6/	
Abb. 64	Efficiency als Funktion der Ausleseschwelle für eine Streamer-Tube ohne Deckel	101
Abb. 65	Clustergröße als Funktion der Hochspannung für eine Streamer-Tube ohne Deckel	101
Abb. 66	Clustergröße als Funktion der Ausleseschwelle für eine Streamer-Tube ohne Deckel	102
Abb. 67	Efficiency als Funktion der Ausleseschwelle	103
Abb. 68	Clustergröße als Funktion der Ausleseschwelle	104
Abb. 69	Ereignis mit einer großen Zahl gefeuerter Kanäle	104
Abb. 70	Entwicklung eines Teilchenschauers in der Atmosphäre	105
Abb. 71	relativer Anteil der einzelnen Komponenten eines atmosphärischen Schauers	105
Abb. 72	Triggeranordnung 1 und Triggeranordnung 2	105
Abb. 73		
Abb. 74	Spuren, die einen Trigger auslösen aber nur wenige Kanäle durchqueren	106
Abb. 75		

Literaturverzeichnis

- /1/ Technical Proposal for the H1 Detektor
02/87 (1986)
- /2/ K. Kleinknecht, Detektoren für Teilchenstrahlung
- /3/ F. Sauli , Principles of Operation of Multiwire
Proportional Chambers,
CERN 77-09, 3.5.77
- /4/ G.D. Alekseev et al., Investigation of Self-Quen-
ching Streamer Discharge in a Wire Chamber,
NIM 177(1980)385
- /5/ M. Atac et al., Self-Quenching Streamers,
NIM 200(1982)345
3.1.82
- /6/ F. Brinker, Diplomarbeit, Dortmund 1987
- /7/ G. Battistoni et al., Resistive Cathode Detectors
with Bidimensional Strip Readout : Tubes and Drift
Chambers, NIM 176(1980)297
- /8/ G. Battistoni et al., Resistive Cathode Transparency
NIM 202(1982)459
- /9/ Allkofer 2
- /10/ Particle Properties Data Booklet, North-Holland,
Amsterdam-1988 - P.C. 0703(1988)
T₂
- /11/ Schriftliche Hausarbeit, Ingelbach, Dortmund 1980

Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. Wegener für den Freiraum, den ich mir bei der Bewältigung dieser Arbeit nehmen durfte. Die dabei gemachten Erfahrungen sind für mich mindestens so wertvoll, wie diejenigen, die hier ihren Ausdruck finden. Weiterer Dank gebührt ihm ebenfalls für die Möglichkeit, als studentische Hilfskraft gearbeitet haben zu können.

Dem Dekan der Abteilung Physik , Herrn Prof. Dr. Keiter, danke ich für das Wohlwollen, mit dem er die Beendigung dieser Arbeit begleitet hat.

All jenen, die mich in den letzten Stunden unterstützt haben, gilt besonderer Dank :

Albin, Frank, Joachim , Kerstin und Sabine

Diese Arbeit wurde durch Mittel des Bundesministeriums für Forschung und Technologie unterstützt.