

Entwicklung und Bau eines
zylindrischen Driftkammer-Prototyps
für den H1 Detektor

Peter Robmann

April 1988

Diplomarbeit am Physik-Institut
der Universität Zürich
in der Gruppe von Herrn Prof. Dr. P. Truöl

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung
2. Die Funktionsweise einer Driftkammer
3. Motivation
 - 3.1 Physik am HERA Speicherring
 - 3.2 Der H1 Detektor
 - 3.2.1 Übersicht
 - 3.2.2 Der zentrale Detektor und die innere z -Driftkammer
4. Entwicklung und Konstruktion des Prototyps
 - 4.1 Simulationen auf dem Computer
 - 4.1.1 Simulation von Leiterebenen durch Drähte
 - 4.1.2 Feldberechnungen
 - 4.1.2.1 Die Struktur einer Kammerzelle
 - 4.1.2.2 Der Einfluss einer Abschirmung auf das Feld in der Zelle
 - 4.1.3 Driftzeitrechnungen

4.2 Mechanische Konstruktion

4.2.1 Übersicht

4.2.2 Beschreibung der einzelnen Bestandteile

4.2.3 Kurze Beschreibung des Konstruktionsvorganges

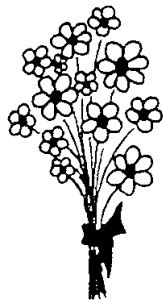
4.3 Die Kammerelektronik

5. Erste Kammertests

6. Zusammenfassung

Referenzliste

Anhang



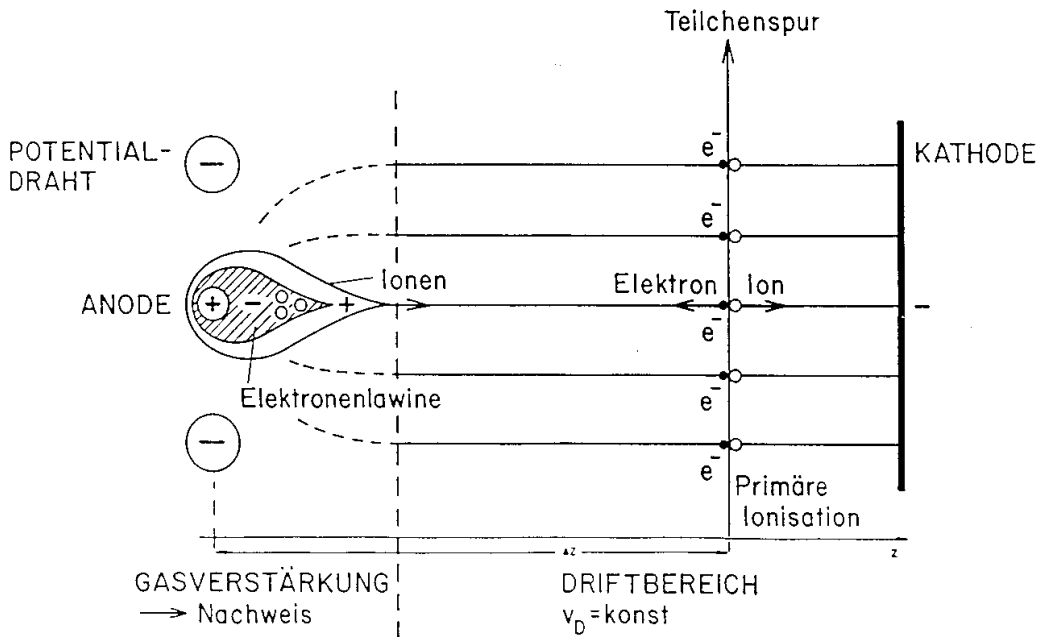
zum Dank!

1. EINFÜHRUNG

In dieser Arbeit beschreibe ich die Entwicklung und die mechanische Konstruktion eines zylindrischen Driftkammerprototyps. Die damit gemachten Erfahrungen sollen schliesslich den Bau einer endgültigen Kammer für den HERA H1 Detektor, am Deutschen Elektron-Synchrotron, DESY in Hamburg ermöglichen. Dieser Detektor entsteht in Zusammenarbeit mit Gruppen aus verschiedenen Ländern. Nach einer Einführung in die Funktionsweise der Driftkammer und einer Kurzbeschreibung des "H1 Experimentes" beschreibt der darauf folgende die auf dem Computer durchgeführten Simulationen, die Entwicklung der einzelnen Bestandteile sowie deren Zusammenbau. Erste Messresultate, Vorschläge und Ideen zum Bau der z-Kammer für den H1 Detektor schliessen die Arbeit ab.

2. DIE FUNKTIONSWEISE DER DRIFTKAMMER

Ein geladenes Teilchen, welches durch ein Gas fliegt, erzeugt durch inelastische Stösse (elektromagnetische Wechselwirkungen) Elektronen-Ionen Paare. Unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes \vec{E} bewegen sich die Elektronen zur Anode und die positiven Ionen zur Kathode. Wegen der Stösse mit den Gasmolekülen stellt sich eine gleichförmige Driftgeschwindigkeit v_D ein, die von der gegebenen Gasart, dem Druck und der elektrischen Feldstärke abhängt.



Figur 1: Das Prinzip einer Driftkammer

In der Umgebung des dünnen Anodendrahtes steigt das elektrische Feld $E \sim 1/r$ stark an und erreicht Werte bis 10^5 V/cm . Die Elektronen erhalten in diesem Bereich zwischen zwei Kollisionen mit Gasmolekülen eine kinetische Energie, die grösser ist als die Ionisationsenergie der Moleküle. In Drahtnähe steigt dadurch die Zahl der Elektronen-Ionen Paare in kurzen Zeiten — einige $nsec.$ — stark an, es bilden sich Elektronen-Lawinen. Die primäre Ladung wird dadurch um das 10^4 - bis 10^6 -fache vergrössert. Der über die Anode abfliessende Elektronenstrom kann mit empfindlichen Verstärkern nachgewiesen werden.

Kennt man den Zeitpunkt t_0 des Teilchendurchgangs, so kann aus der Zeitdifferenz $\Delta t = t - t_0$ zwischen primärer Ionisation zur Zeit t_0 und der Messung des Strompulses bei t , wenn die Driftgeschwindigkeit v_D bekannt ist, der Ort der Teilchenspur bestimmt werden:

$$z = \int_{t_0}^t v_D dt .$$

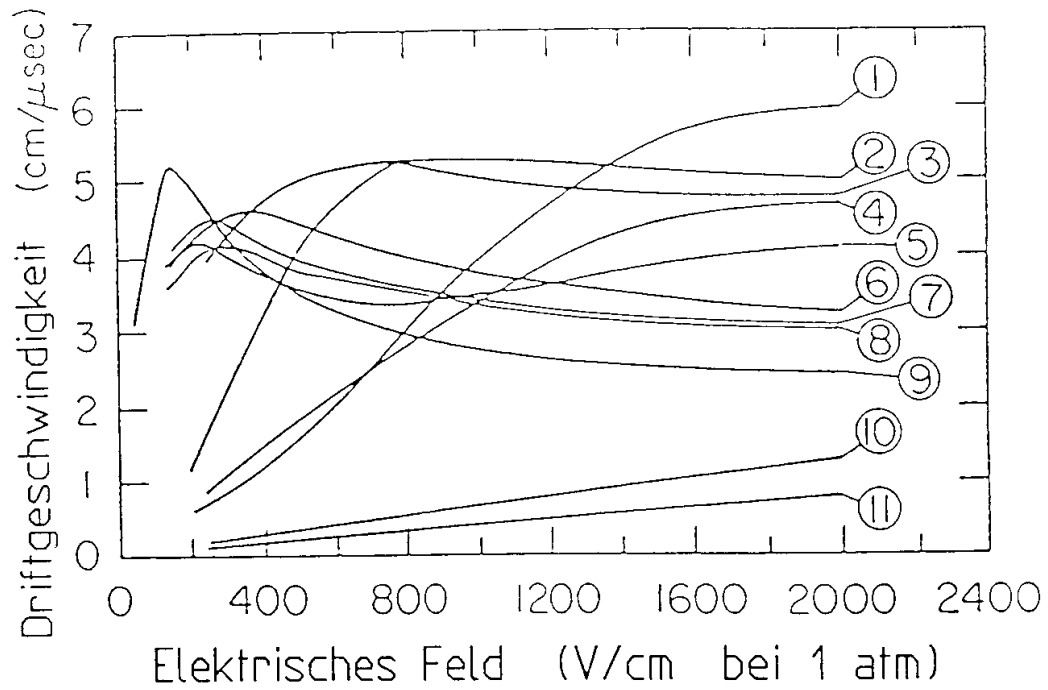
Für konstante Driftgeschwindigkeiten $v_D = konst$ gilt:

$$\Delta z = v_{D\ konst} \cdot \Delta t$$

Zur Übersicht sind in Tabelle 1 die Anzahl der primären, von minimal ionisierenden Teilchen pro Längeneinheit erzeugten Ionenpaare für verschiedene Gase bei $1atm$ angegeben:

Gas	z	$\sim n_p$ Ionen Paare/cm
H_2	2	5
He	2	6
N_2	14	10
O_2	16	22
Ne	10	12
Ar	18	30
Kr	36	22
Xe	54	44
CO_2	22	34
CH_4	10	16
C_4H_{10}	34	46

In Figur 2 ist die Abhängigkeit der Driftgeschwindigkeit von der Feldstärke für verschiedene Gasgemische dargestellt:



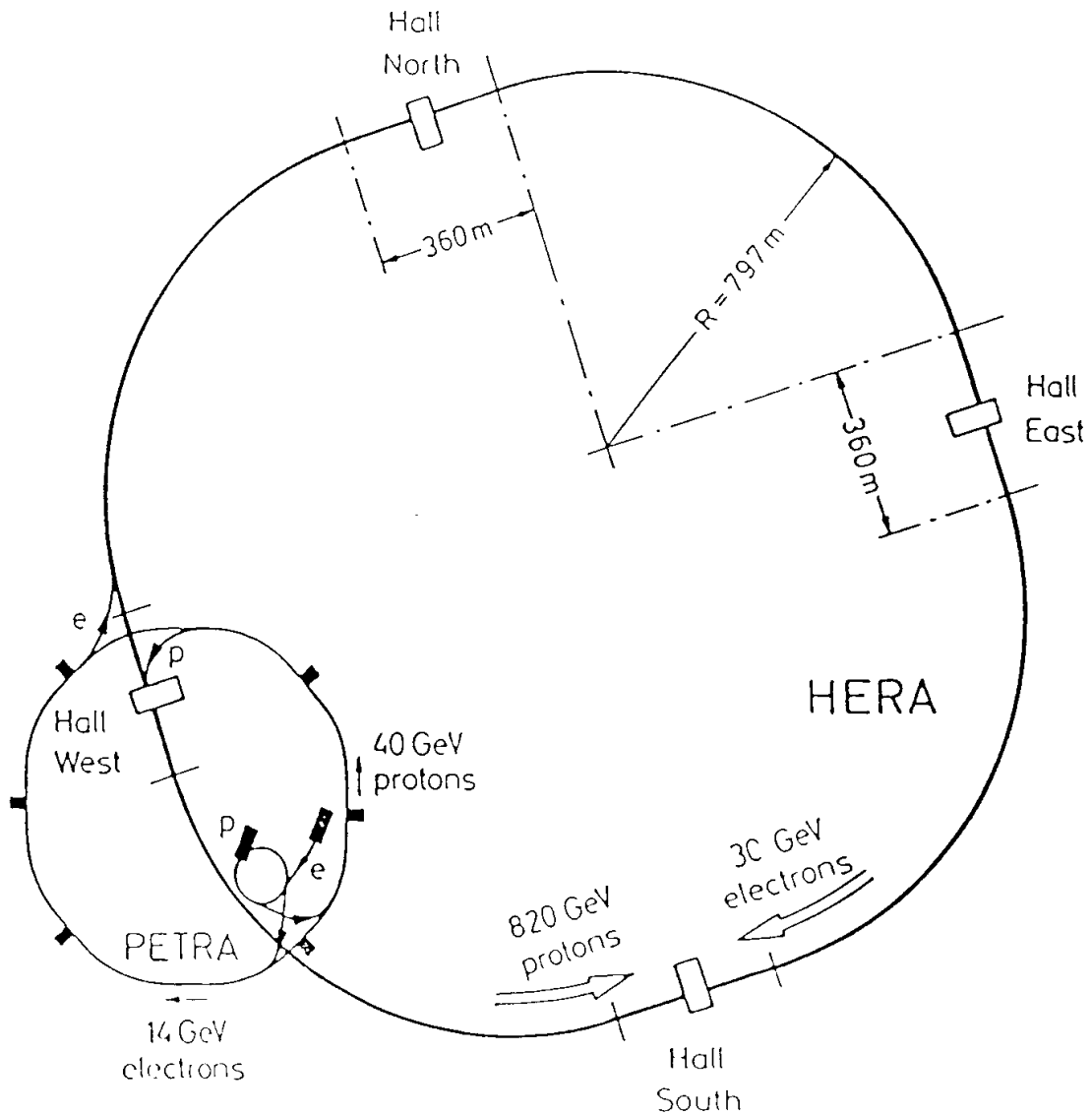
- | | |
|---|--|
| (1) 80/20, Ar/CO ₂ ; | (2) 50/50, Ar/C ₂ H ₆ ; |
| (3) 90/10, Ar/CO ₂ ; | (4) i - C ₄ H ₁₀ ; |
| (5) 90/10, Ar/C ₂ H ₄ - 4 ; | (6) 90/10, Ar/i - C ₄ H ₁₀ ; |
| (7) 90/10, Ar/C ₂ H ₆ ; | (8) 90/10, Ar/C ₃ H ₈ ; |
| (9) 90/10, Ar/CH ₄ ; | (10) CO ₂ ; (11) Ar . |

Figur 2: Driftgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom elektrischen Feld für verschiedene Gase [3]

Eine ausführliche Darstellung über Driftkammern und weitere Literaturhinweise findet man in [8].

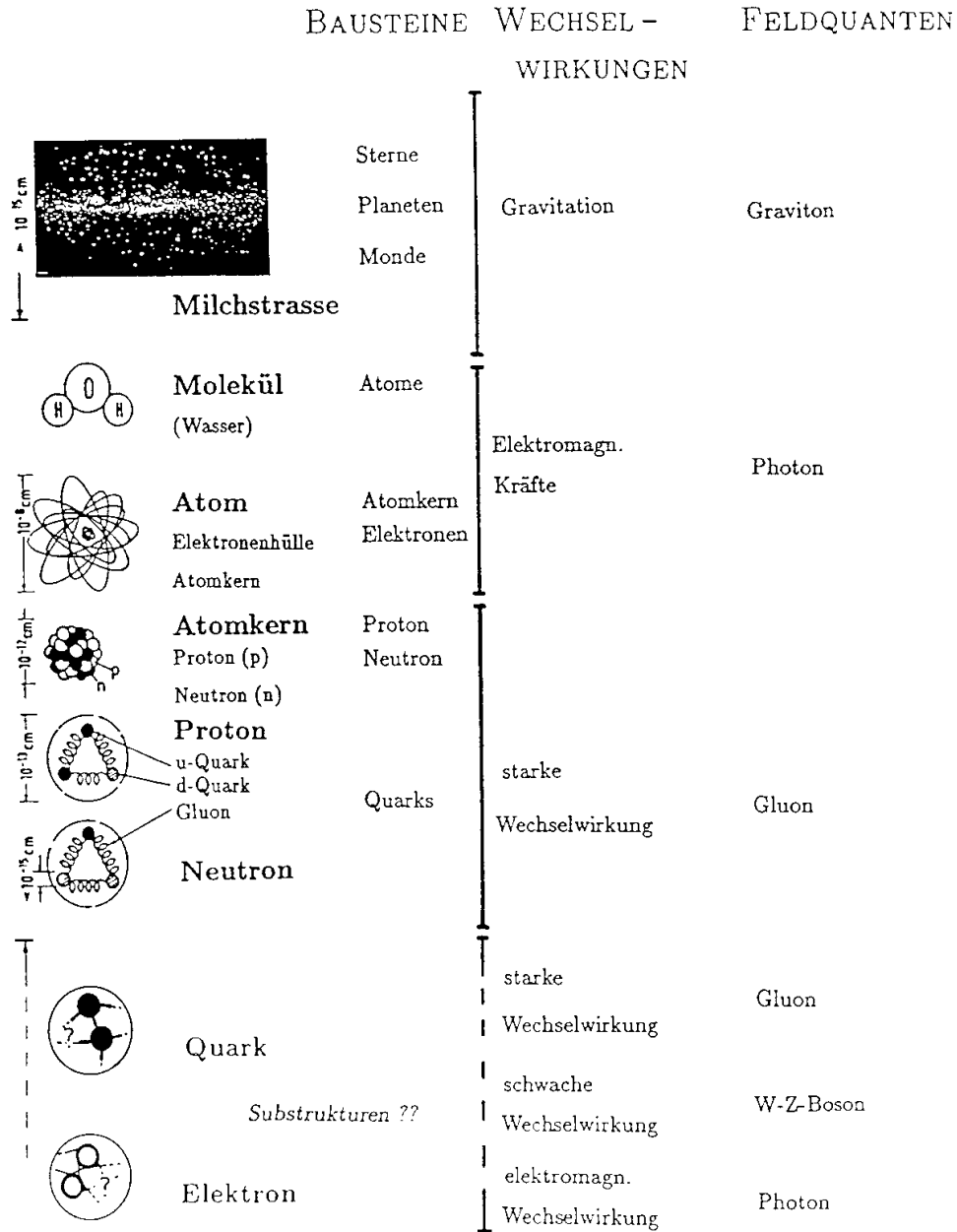
3. MOTIVATION

Gegenwärtig wird am Deutschen Elektron-Synchrotron, DESY ein neuer Speicherring mit dem Namen HERA gebaut. Dort werden Kollisionen zwischen 30 GeV Elektronen und 820 GeV Protonen möglich sein. Die Reaktionspartner e^- und p^+ sind Sonden um die Wechselwirkungen zwischen elementarsten Bausteinen zu erforschen, Strukturen bis zu 10^{-18} cm werden so sichtbar.



Figur 3: Der HERA Speicherring

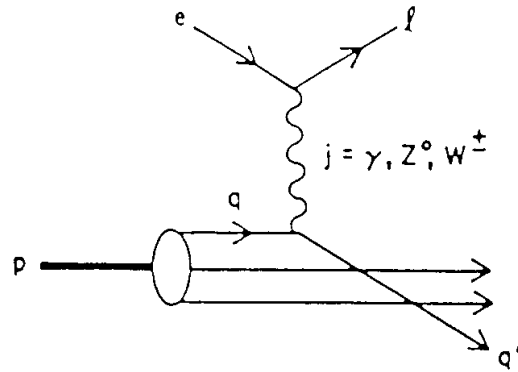
Die Experimente sollen Informationen über allfällige Substrukturen von Quarks und Leptonen liefern. Auch wird die Suche nach neuen Austauschteilchen der neutralen und geladenen Ströme möglich. Es können Leptoquarks angeregte Quarks und Leptonen, sQuarks und sLeptonen — vorausgesetzt sie existieren — erzeugt werden.



Figur 4: Die Materie und die elementaren Kräfte

3.1 PHYSIK AM HERA SPEICHERRING

Der grosse mögliche Impulsübertrag beim Zusammenprall der Teilchen bewirkt vor allem Wechselwirkungen zwischen dem Elektron und einem Quark des Protons .



Lepton-Proton Streuung

Die Wechselwirkung des eintreffenden Elektrons mit einem der Protonenquarks erfolgt über einen Strom j , dabei emittiert das Elektron ein Lepton. Ist der Strom neutral, so ist das Lepton ein Elektron, ist er geladen, ein Neutrino.

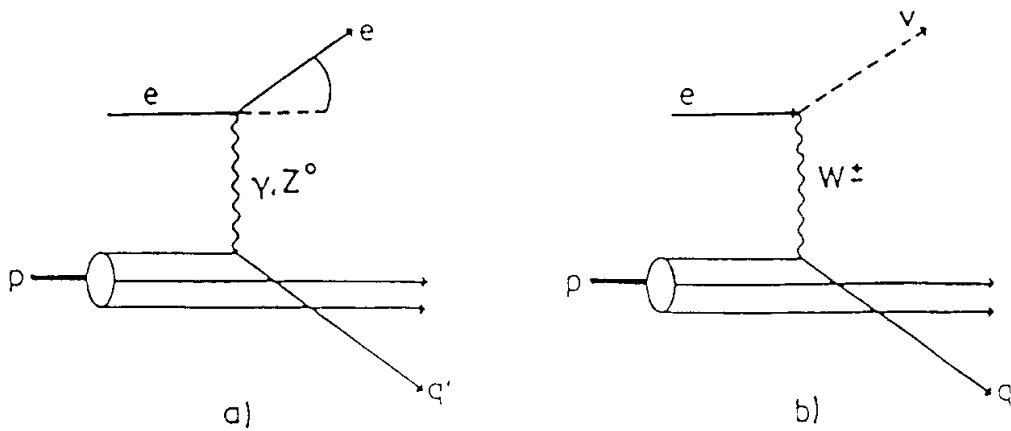
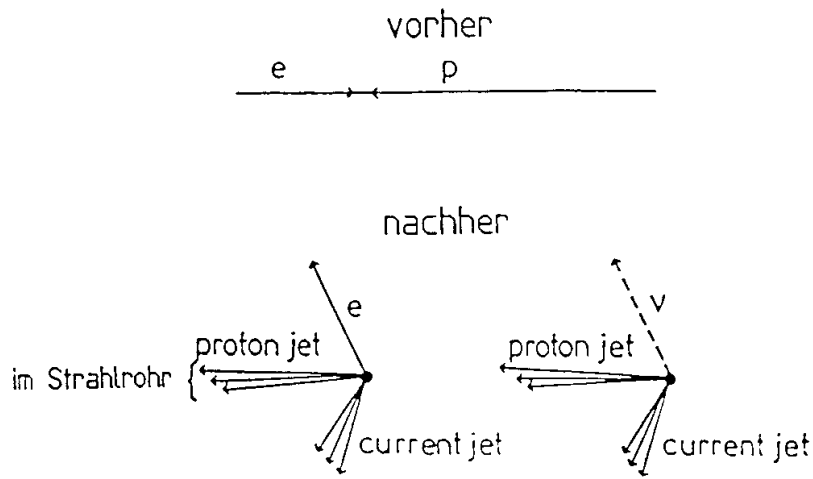
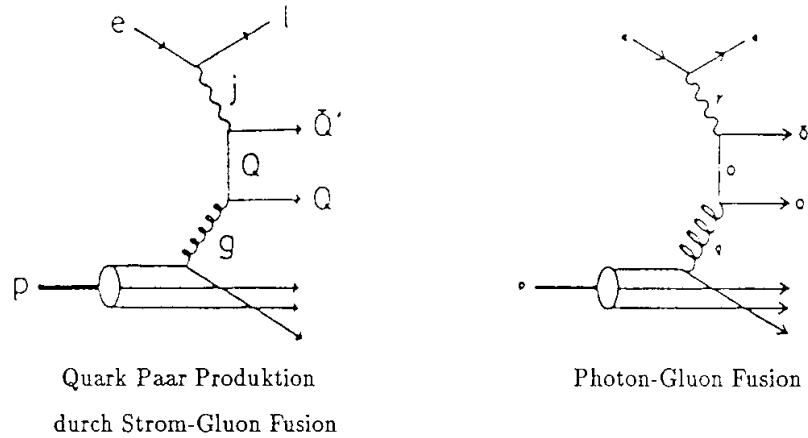


Diagramm mit einem neutralen (a) und einem geladenen Strom (b)

Die Strom-Gluon Fusion kann eine bedeutende Rolle spielen, besonders die Photon-Gluon Fusion. Bei diesem Prozess entstehen schwere Quarks. Die Figuren sollen die Mechanismen symbolisch darstellen.



Darstellung eines inelastischen Streueignisses

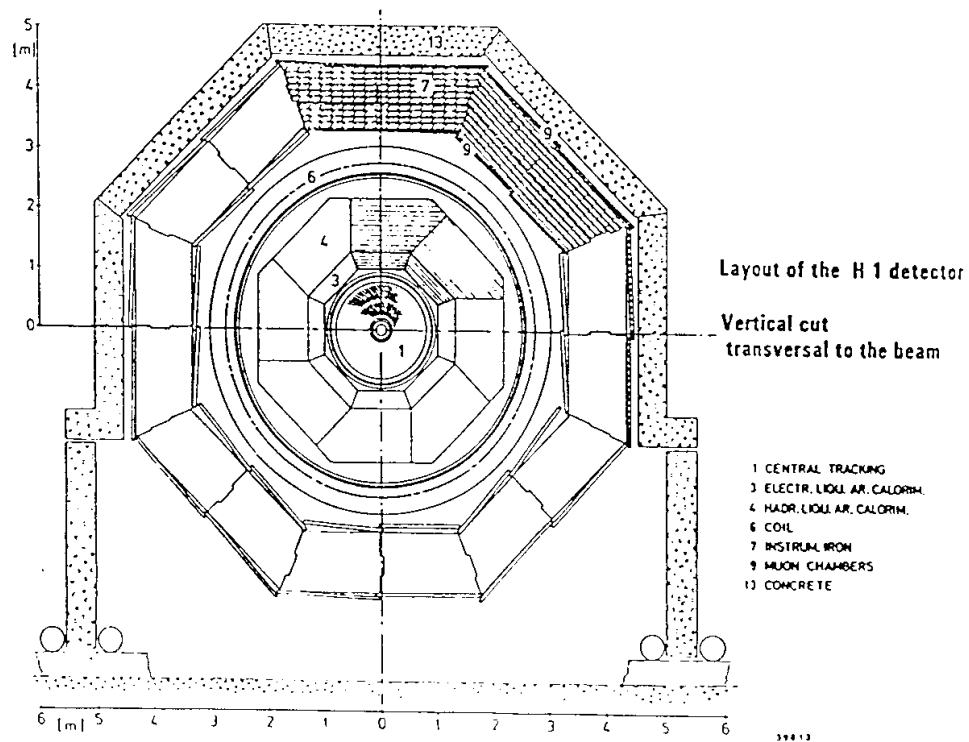
Vom Detektor können die "Current Jets" und das Elektron registriert werden. Die so erhaltene Information soll die Rekonstruktion der Ereignisse ermöglichen.

In [12] findet man eine detaillierte Diskussion und weitere Hinweise.

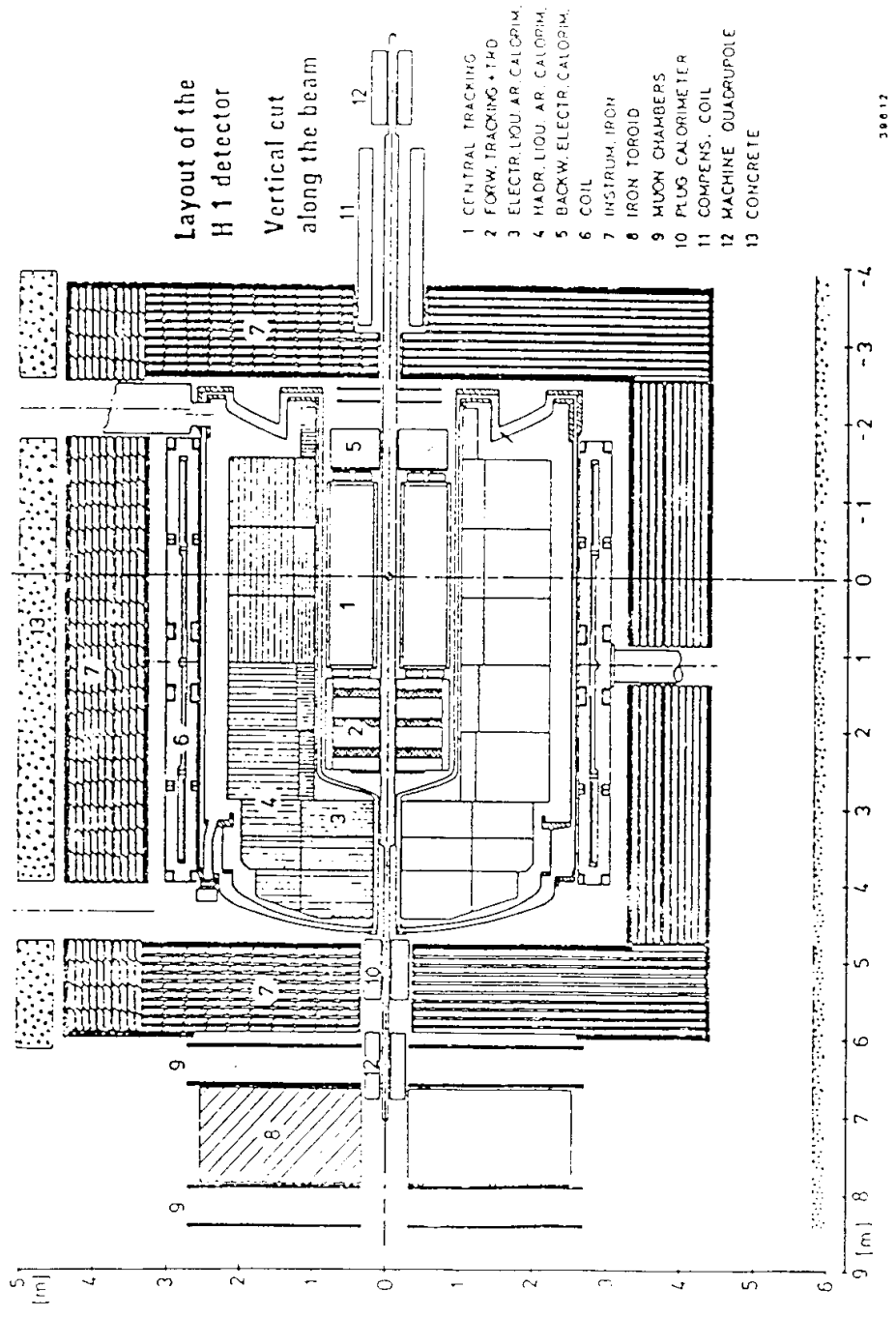
3.2 DER H1 DETEKTOR

3.2.1 ÜBERSICHT

Der H1 Detektor soll die Reaktionsprodukte von Elektron-Proton Zusammenstößen genau nachweisen können. Die beiden Figuren zeigen einen Längs- und Querschnitt durch den Detektor. Die z-Driftkammer ist ein Bestandteil des zentralen Detektors (1).



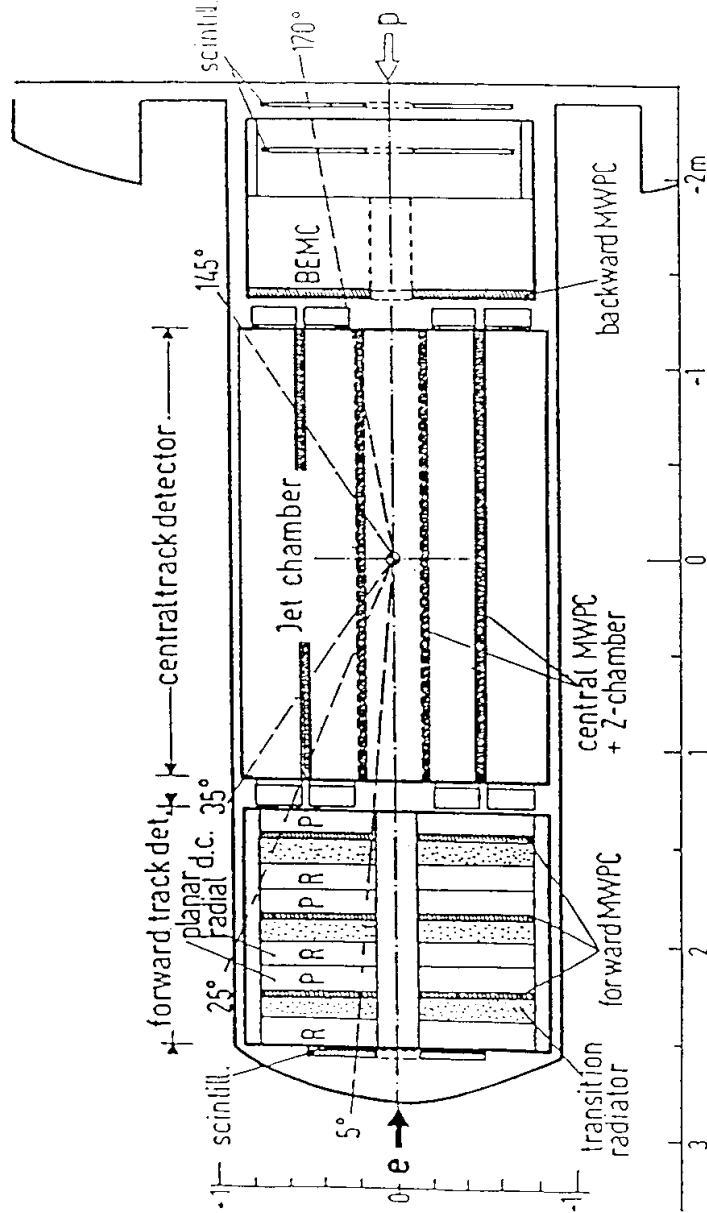
Figur 5: Querschnitt durch den H1 Detektor



Figur 6: Längsschnitt durch den H1 Detektor

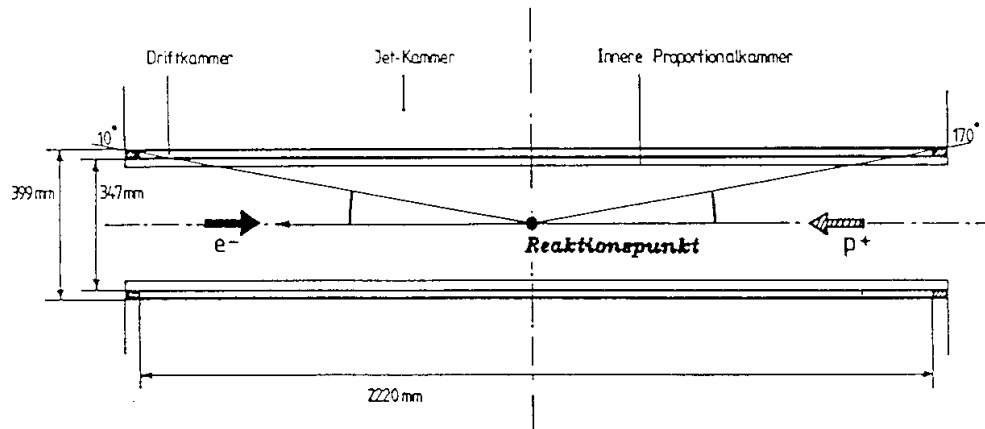
3.2.2 DER ZENTRALE DETEKTOR UND DIE INNERE z-DRIFTKAMMER

Figur (7) zeigt den zentralen Teil des Detektors mit der inneren z-Kammer (Z-chamber). Sie soll eine präzise Messung der z-Koordinate (entlang der Strahlachse) von Teilchenspuren und sogenannten Jets (Teilchenbündeln) ermöglichen.



Figur 7: Längsschnitt vom zentralen Detektorteil

Geometrisch ist die innere z-Driftkammer zwischen der Jet Kammer und der inneren Proportionalkammer (MWPC) angeordnet. Innen- und Aussendurchmesser und die aktive Länge für die vorgesehene Kammer sind in Figur 8 angegeben.

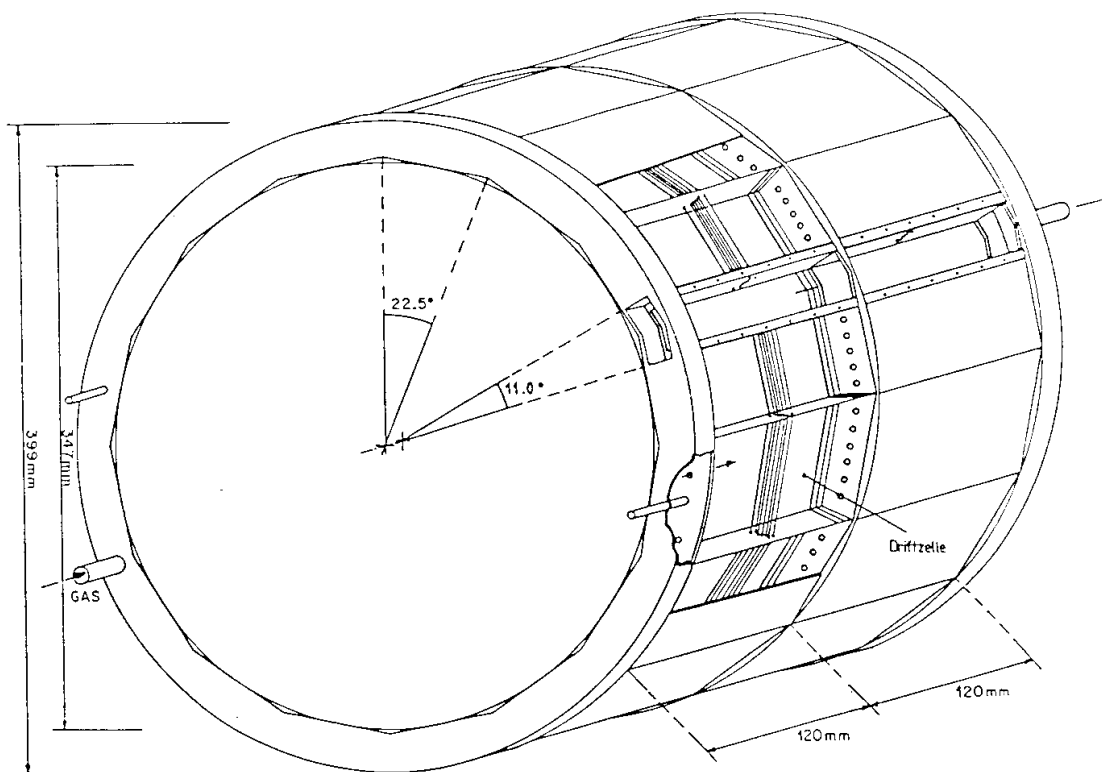


Figur 8: Abmessungen des Driftkammerzylinders

Die Kammer muss Teilchen im Winkelbereich $10^\circ \leq \Theta \leq 170^\circ$ nachweisen können. Die Genauigkeit der Ortsbestimmung wird aber sicher von der Spur-Richtung abhängen. So ist nur für Spuren in einem bestimmten Winkel die Strecke vom Ort der primären Ionisation bis zum Signaldraht für die Elektronen mehr oder weniger gleich. Es wird ein kurzer Puls mit einer steilen Anstiegsflanke erzeugt, welcher eine genaue Driftzeitbestimmung erlaubt. Für andere Richtungen können die Strecken der Elektronen bis zum Signaldraht und damit die Ankunftszeiten stark verschieden sein. Das beeinflusst natürlich die Pulsform und die Auflösung. Dieses Problem wurde in einer vorangehenden Arbeit [6] untersucht und führte zum Bau einer Test-Driftzelle mit einer speziellen, relativ zur Kammerachse geneigten Anordnung der Signaldrähte.

4. ENTWICKLUNG UND KONSTRUKTION DES PROTOTYPS

Der Prototyp besteht aus zwei Ringen mit je 16 Driftzellen. Der Innen- und Aussendurchmesser entspricht den in Figur 8 angegebenen Grössen.



Figur 9: Eine Skizze des Prototyps

Die gewählte Driftlänge von 6 cm bestimmt die Ringbreite (12 cm). Die Drähte sind wie in der gebauten Testdriftzelle [6] geneigt angeordnet. Das Kammergas wird in Achsenrichtung durch die Zellen geleitet. Die elektrischen Verbindungskabel werden im Kanal zwischen den Endstegen verlegt und mit der Kammer verbunden.

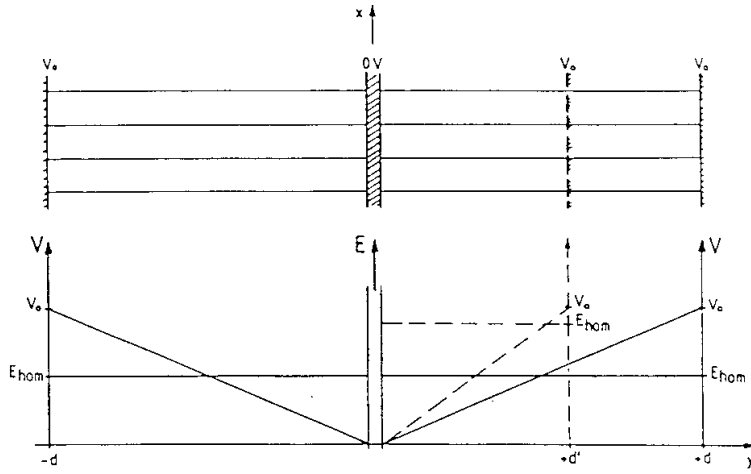
4.1 SIMULATIONEN AUF DEM COMPUTER

Um die Eigenschaften der einzelnen Zellen zu verstehen und Information für Konstruktionsdetails zu bekommen, wurden Computersimulationsrechnungen durchgeführt. Es ist möglich, den Einfluss von Geometrie, Spannungen, Drahtposition und Drahtdicke auf den Feldverlauf in einer Driftzelle zu simulieren. Benützt wurde dabei ein an der ETH Zürich entwickeltes Programm (WIRCHA) [4].

- Ein Programmteil (FIELD) berechnet die Potential- und Feldverteilung einer beliebigen Anzahl von Drähten zwischen parallelen, unendlich ausgedehnten geerdeten Platten. Diese Routine ist von Referenz [1] übernommen, und basiert auf einer in Referenz [2] beschriebenen Methode. Dabei wird angenommen, dass der Drahtdurchmesser $2r$ klein ist gegenüber dem Drahtabstand s und dem Abstand der Drähte zu den geerdeten Platten. Das heisst, dass die Ladungen gleichmässig über die Drahtoberfläche verteilt sind.
- Ein zweiter Teil (DRIFT) berechnet die Driftgeschwindigkeit und die transversale Diffusion in einem Gasgemisch [9], für bekannte Elektronen Streuquerschnitte wird die Boltzmann-Gleichung gelöst.
- Ein dritter Teil (TRACKING) ermöglicht das Zeichnen von elektrischen Feldlinien, Teilchenspuren mit Zeitmarken (Driftzeit) und Äquipotentiallinien.

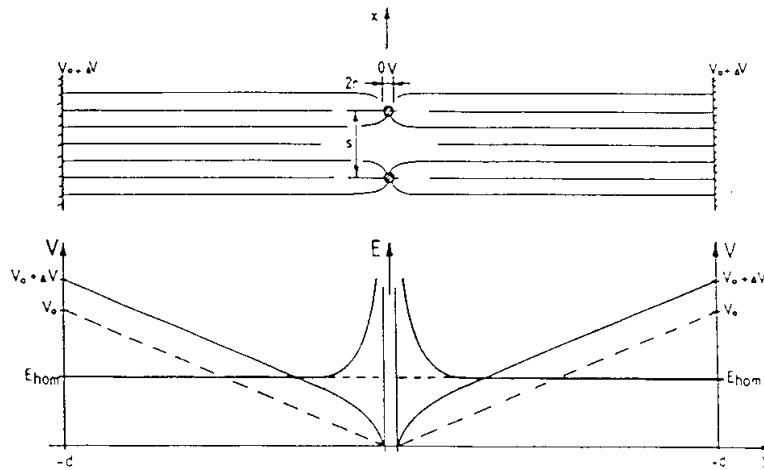
4.1.1 SIMULATION VON LEITEREBENEN DURCH DRÄHTE

In der Driftzelle werden verschiedene Leiterflächen zur Felderzeugung eingebaut. Da das Programm aber nur Drähte berechnen kann, müssen diese Leiterebenen in den Simulationen durch einzelne Drähte dargestellt werden. Um die dabei auftretenden Effekte zu zeigen, betrachte ich folgende Anordnung von 3 Platten mit den angegebenen Potentialen. Die Überlegungen können auch zum Verständnis des Einflusses der Kammerabschirmung auf die Felder in den Driftzellen beitragen. In der Darstellung ist die Feldstärke und das Potential eingezeichnet.



Figur 10: Feld zwischen 3 Platten

Ersetzt man in der symmetrischen Anordnung die mittlere Platte durch Drähte mit dem Radius r und dem Abstand s , so wird in Drahtnähe das elektrische Feld $E \sim 1/r$ zunehmen.



Figur 11: Mittlere Platte durch Drähte ersetzt

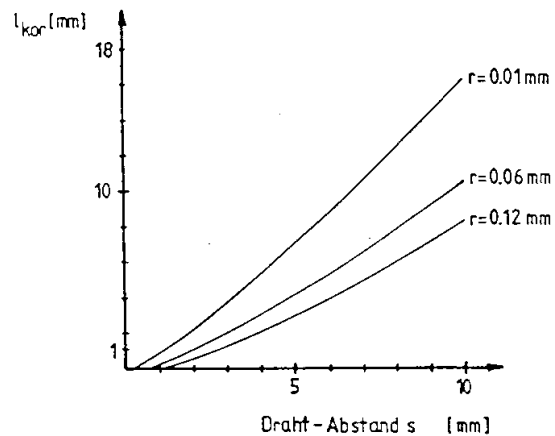
Damit die gleiche Feldstärke E_{hom} wie in der Anordnung mit 3 Platten erzeugt wird, muss die Spannung um ΔV erhöht werden. Man kann schreiben:

$$V_{eff} = E(\ell + \ell_{kor}) \quad \text{mit } V_0 = E \cdot \ell \text{ gilt:} \quad (1)$$

$$V_{eff} = V_0 + E \cdot \ell_{kor} . \quad (2)$$

Ist $r \ll s$, so kann man (siehe [5]) ℓ_{kor} berechnen:

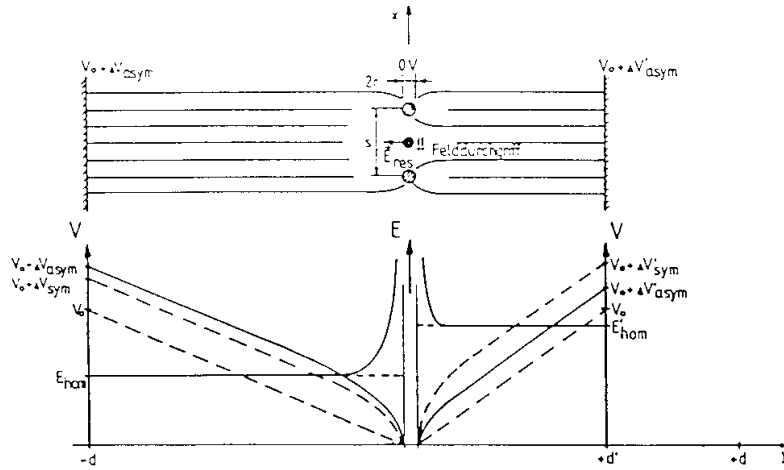
$$\ell_{kor} = -\frac{s}{\pi} \ln 2\pi \frac{r}{s}$$



Figur 12: ℓ_{kor} in Abhängigkeit von r und s

Verschiebt man nun die rechte Platte bei fester Spannung V_0 nach d' , so wird das Feld E'_{hom} auf dieser Seite grösser, es gilt: $E = V_0/\ell$.

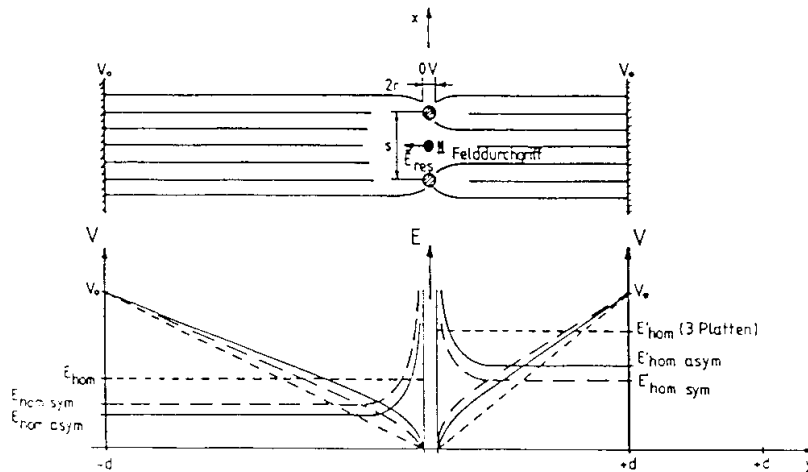
Ersetzt man die mittlere Platte wieder durch Drähte, so beeinflussen sich die unterschiedlichen Felder, abhängig vom Abstand der Drähte. Es kommt zum Felddurchgriff, für die linke Seite wird das elektrische Feld in Drahtnähe grösser, das macht das Feld im homogenen Teil schwächer. Für die rechte Seite wird das Feld in Drahtnähe verkleinert, was zur Erhöhung des homogenen Feldes E'_{hom} führt.



Figur 13: Asymmetrische Anordnung mit Drähten

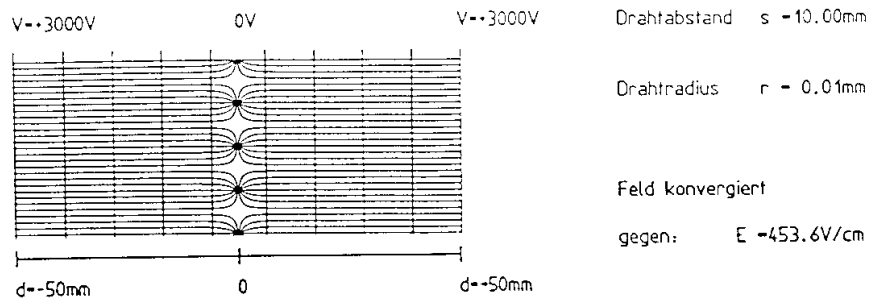
Will man das schwache Feld E_{hom} konstant halten, so ist zu beachten, dass sich die Korrekturspannung ΔV gegenüber der symmetrischen Anordnung vergrößert hat; die Spannung $\Delta V'$ auf der rechten Seite wird jedoch kleiner.

Lässt man die Spannungen V_0 an den Platten konstant, so wird bei einer asymmetrischen Anordnung im Vergleich mit den entsprechenden Werten der symmetrischen Anordnung das schwache Feld verkleinert und das starke vergrößert.



Figur 14: Feld und Potential für feste Spannungen V_0

Die folgenden Bilder sind Computersimulationen, welche die oben beschriebenen Effekte veranschaulichen sollen. Sie zeigen den Feldverlauf und die Äquipotentiallinien in Abständen von 500 Volt.



Figur 15: Symmetrische Anordnung der Platten bezüglich der Drahtebene

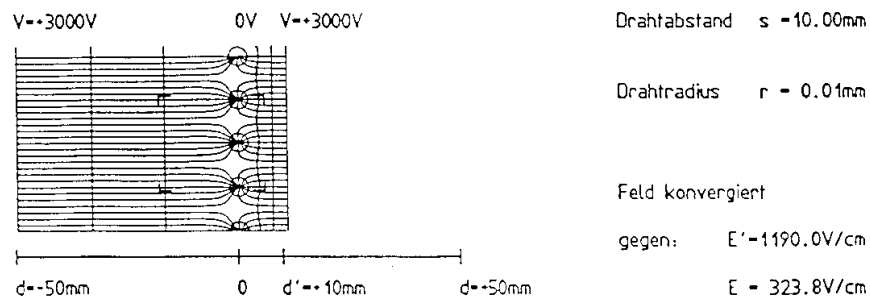
Würde das Feld durch 3 Platten erzeugt, so hätte es eine Stärke von $E = V_0 / \ell = 500 V / cm$.

Nach (1) und (2) gilt: $V = V_0 + \Delta V = E \cdot \ell + \ell_{kor} \cdot E$

$$\text{mit } \ell_{kor} = -\frac{s}{\pi} \ln 2\pi \frac{r}{s} = 16.14 mm \quad V = 22678V + 731.98V = 2999.82V \cong 3000V$$

Für symmetrische Anordnungen stimmen Simulation und Rechnung überein.

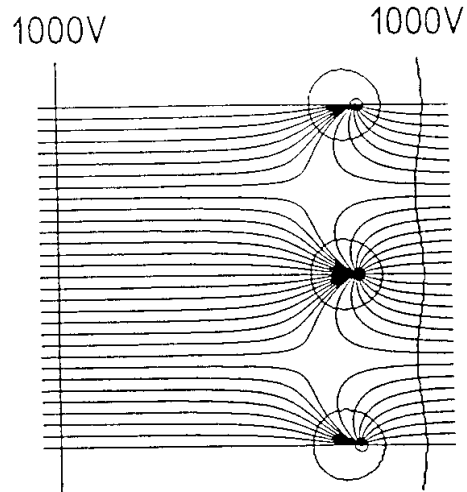
Um den Einfluss auf die linke Seite zu untersuchen, verschiebe ich die rechte Platte, ohne dabei die Spannungen zu ändern.



Figur 16: Die rechte Platte ist bei gleichen Spannungen verschoben worden

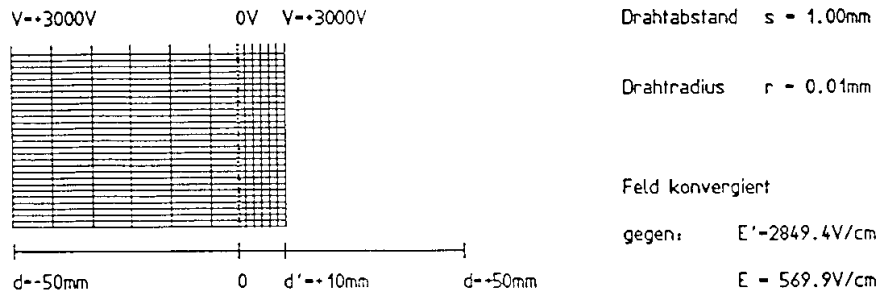
Vergleicht man den Wert $E = 323.8 V / cm$ aus Figur 16 mit demjenigen der symmetrischen Anordnung in Figur 15, so ist dieser wie erwartet kleiner.

Ein vergrößerter Ausschnitt aus Figur 16 zeigt anschaulich, wie das starke Feld das schwache verdrängt.



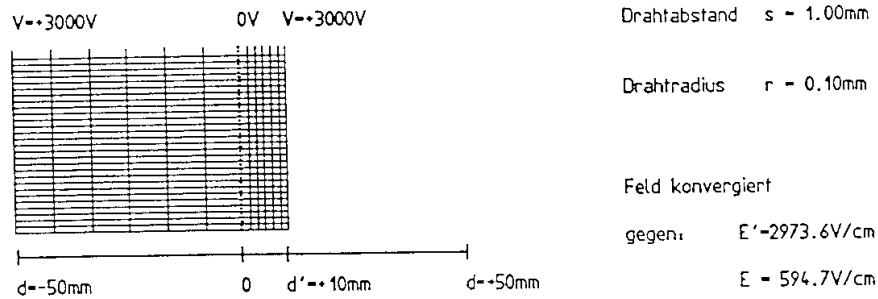
Figur 17: Ein vergrößerter Ausschnitt aus Figur 16 zeigt den Felddurchgriff

Verkleinert man den Drahtabstand s , so werden die Felder grösser. Der Wert ℓ_{kor} wird kleiner und damit auch ΔV ; es bleibt weniger "drahtfreier Raum" für den Felddurchgriff, was diesen vermindert.



Figur 18: Situation aus Figur 16 mit kleinerem Drahtabstand $s = 1\text{ mm}$

Vergrößert man den Radius auf $r = 0.1 \text{ mm}$, so konvergieren die Felder gegen $E = 594.71 \text{ V/cm}$ und $E' = 2973.60 \text{ V/cm}$. Diese Werte unterscheiden sich nur noch wenig von denen, die durch 3 Platten erzeugt würden, nämlich $E = 600 \text{ V/cm}$ und $E' = 3000 \text{ V/cm}$.



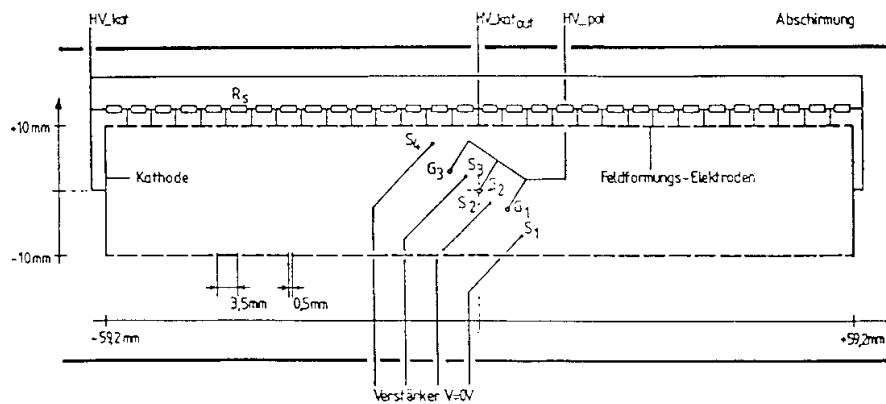
Figur 19: Mit Radius $r = 0.1 \text{ mm}$

Bei Feldsimulationen muss also die Anzahl der Drähte so gewählt werden, dass die gezeigten Effekte möglichst klein sind. Die Darstellung von Leiterebenen durch Drähte ist umso besser, je mehr Drähte verwendet werden. (Die Korrekturspannungen ΔV und der Felddurchgriff sind dann klein.) Dabei ist zu beachten, dass der Drahtabstand s kleiner als der Durchmesser $2r$ ist.

4.1.2 FELDBERECHNUNGEN

4.1.2.1 Die Struktur einer Kammerzelle

In der flachen Zelle muss der Verlauf der Feldlinien durch am Rand des Driftbereichs angebrachte Leiterstreifen reguliert werden. Die Spannungen an diesen Elektroden sorgen für die Homogenität des Feldes im Driftbereich, der Spannungsabfall ΔV_{feld} wird durch die Widerstände R_s erzeugt. Die 4 Signaldrähte sind unter einem Winkel von 45° angeordnet. Das elektrische Feld in Signaldrahtnähe wird durch 3 Potentialdrähte und die Feldformungselektroden bestimmt.



Figur 20: Querschnitt der Driftzelle

Drahtpositionen:

Signaldraht S_1 : $+7 \text{ mm} / -7 \text{ mm}$

Signaldraht S_2 : $+2 \text{ mm} / -2 \text{ mm}$

Signaldraht S_3 : $+2 \text{ mm} / -2 \text{ mm}$

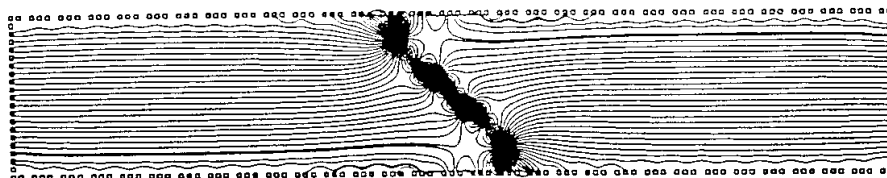
Signaldraht S_4 : $-7 \text{ mm} / +7 \text{ mm}$

Potentialdraht G_1 : $+4.5 \text{ mm} / -3 \text{ mm}$

Potentialdraht G_2 : $0 \text{ mm} / 0 \text{ mm}$

Potentialdraht G_3 : $-4.5 \text{ mm} / +3 \text{ mm}$

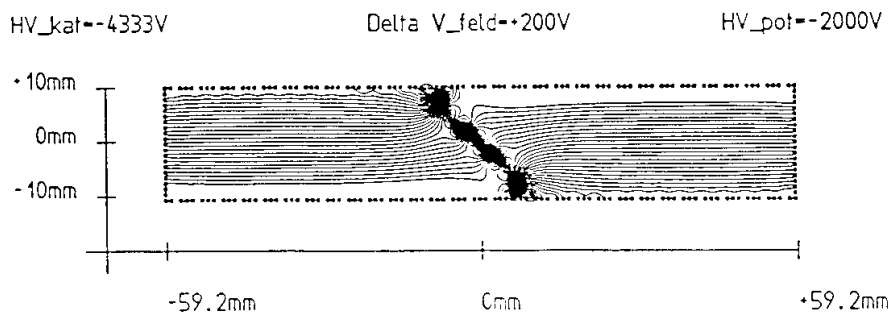
Das Feld, welches durch die angelegten Spannungen in der Zelle erzeugt wird, kann berechnet werden. Figur 21 zeigt ein Feldlinienbild des ganzen Querschnitts. Die Linien aus dem Randbereich enden nicht alle an den Drähten, sondern auch an den mittleren Feldformungselektroden.



Figur 21: Verlauf der Feldlinien in der ganzen Zelle

Die Elektronen aus diesem Bereich gehen verloren, da sie einfach über den Hochspannungsteiler abgeleitet werden. Deshalb wird in den folgenden Berechnungen immer nur der aktive Teil dargestellt.

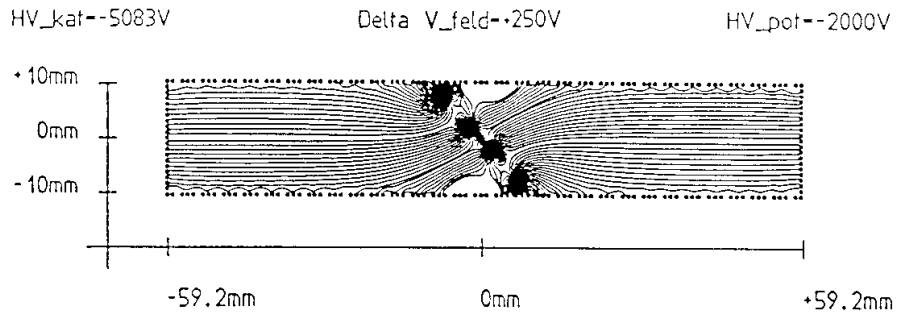
Durch systematisches Ändern der Positionen und der Spannungen ist die Lage der Potentialdrähte nun so bestimmt worden, dass die gewünschte Feldstruktur erzeugt wird und das Oberflächenfeld an den 4 Signaldrähten gleich ist. Dieses Feld bestimmt im wesentlichen die Gasverstärkung und damit die Signalgrösse.



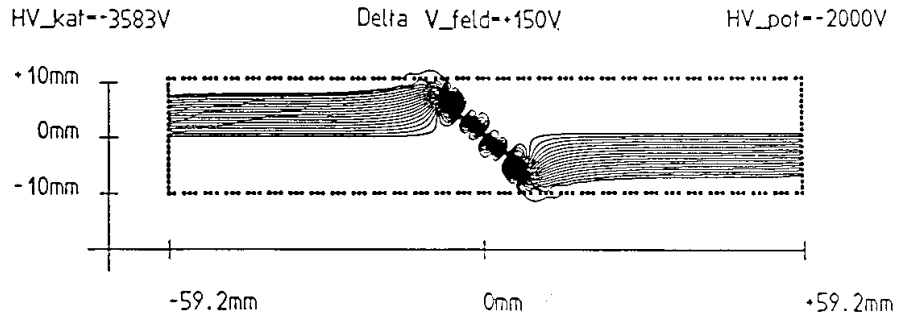
Figur 22: Feldrechnung einer Driftzelle

Verändert man nun alle Spannungen im gleichen Verhältnis, so werden nur die Beträge der Feldstärken vergrössert oder verkleinert. Die Richtung der Feldlinien bleibt die gleiche und damit das Linienbild erhalten. Dies ist nicht mehr der Fall, wenn die Spannungen unabhängig voneinander gewählt werden, was auch die folgenden Rechnungen zeigen.

(i) Änderungen von HV_{kat} ohne die Spannung der mittleren Feldformungselektrode zu ändern

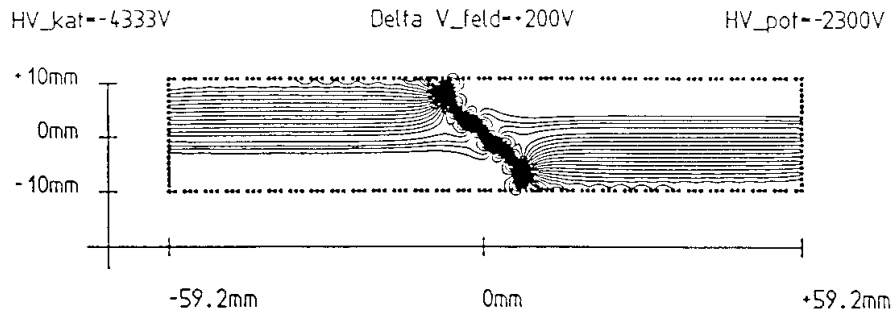


Figur 23: Die Kathodenspannung ist um 750 V erhöht worden

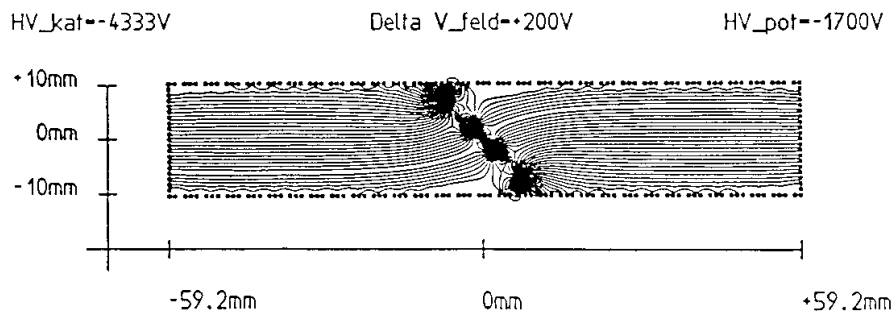


Figur 24: Die Kathodenspannung ist um 750 V verkleinert worden

(ii) Änderungen von HV_{pot}



Figur 25: Die Potentialdrahtspannung ist um $300V$ erhöht worden



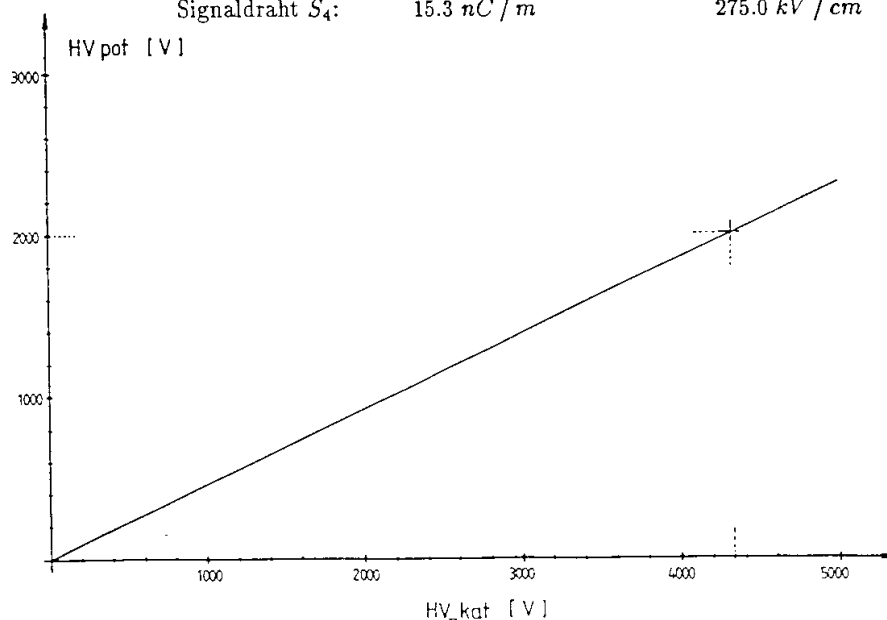
Figur 26: Die Potentialdrahtspannung ist um $300V$ verkleinert worden

Die Kathoden- und Potentialdrahtspannungen stehen also in einem bestimmten Verhältnis $HV_{-kat} / HV_{-pot} = konst$ zueinander.

Wird eine der beiden Spannungen geändert, so muss die andere angepasst werden, damit die Feldkonfiguration erhalten bleibt. Die Gasverstärkung und das Driftfeld können NICHT UN-ABHÄNGIG voneinander eingestellt werden.

Für die in Figur 22 gezeigte Struktur ist das Verhältnis $HV_{-kat}/HV_{-pot} = \frac{4333}{2000} = 2.166$. Die Ladung und das elektrische Feld an der Oberfläche der Signaldrähte betragen:

	Ladung pro Länge	Feld an der Drahtoberfläche
Signaldraht S_1 :	15.3 nC / m	275.0 kV / cm
Signaldraht S_2 :	15.2 nC / m	273.2 kV / cm
Signaldraht S_3 :	15.2 nC / m	273.2 kV / cm
Signaldraht S_4 :	15.3 nC / m	275.0 kV / cm

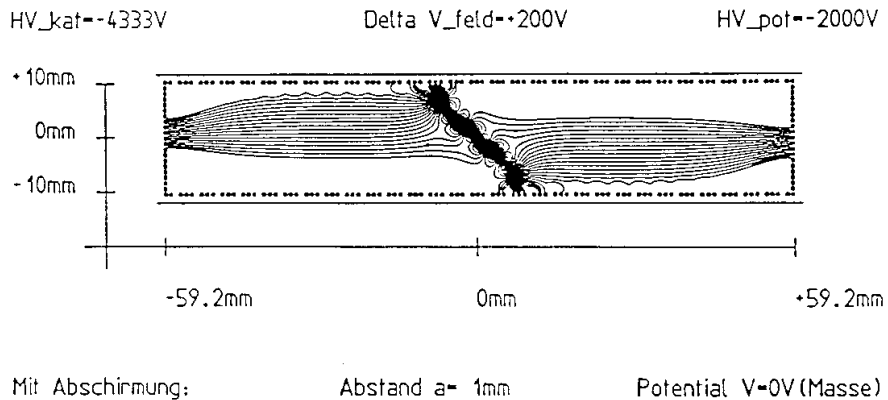


Figur 27: Abhängigkeit von HV_{-kat} und HV_{-pot}

Figur 27 gibt für eine bestimmte Spannung HV_{-pot} die entsprechende Spannung HV_{-kat} an. Die für den Betrieb der Kammer nötige Gasverstärkung bestimmt schliesslich die Spannung HV_{-pot} und diese wiederum die Spannung HV_{-kat} und damit das Driftfeld.

4.1.2.2 Der Einfluss einer Abschirmung auf das Feld in der Zelle

Durch eine Abschirmung will man Einflüsse aus der Umgebung auf die Kammer vermeiden. Wegen der engen Platzverhältnisse befindet sich diese direkt über dem Kammerdeckel und dem Kammerboden. Wird keine Abschirmung angebracht oder liegt diese weit weg (das heisst, der Abstand a muss grösser als die Zellenhöhe sein), so wird die Feldkonfiguration kaum verändert. Das äussere Feld ist klein und deshalb sein Einfluss vernachlässigbar (vergl. Kap. 4.1.1). Wird die Abschirmung jedoch nahe an den Zellenboden bzw. -deckel angebracht, so kann das äussere Feld grösser werden als dasjenige in der Kammer.

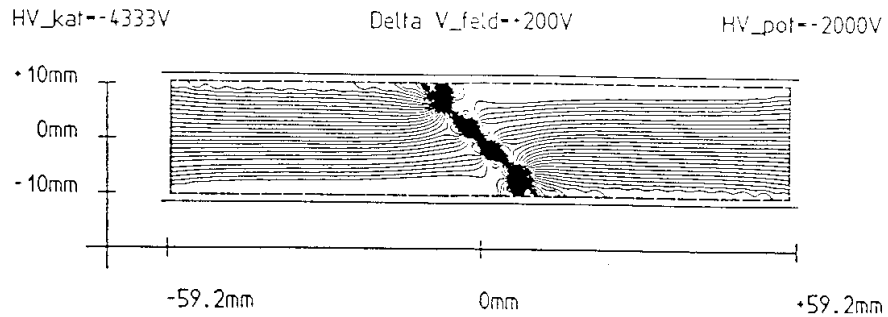


Figur 28: Abschirmung in 1 mm Abstand an Erde

Besonders im Bereich der Kathoden ist das Feld zwischen den Feldformungselektroden und der Abschirmung gross ($\sim 400\text{ V/mm}$) im Vergleich zum Feld in der Kammer ($\sim 50\text{ V/mm}$). Mit den Ergebnissen aus 4.1.1 kann man untersuchen, wie sich dies auf die Feldkonfiguration auswirkt.

Der Drahtabstand bei den simulierten Leiterebenen beträgt 1 mm . Das entspricht auch dem Abstand der Feldformungselektroden zur Abschirmung. Daher ist der Felddurchgriff auch gross.

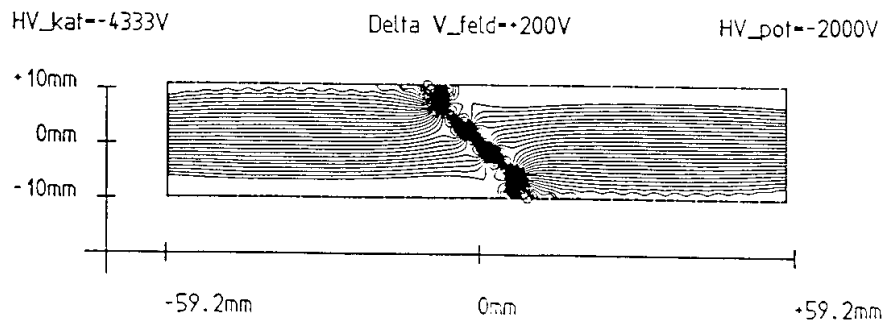
Die Simulation kann verbessert werden, wenn man die Leiterbahnen durch mehr Drähte darstellt.



Mit Abschirmung: Abstand $a=1\text{mm}$ Potential $V=0\text{V}$ (Masse)

Figur 29: Simulation der Zelle aus Figur 28 mit mehr Drähten für die Leiterebenen

Schiebt man in der Simulation von Figur 29 die Abschirmung von der Zelle weg, so ändert sich die Feldstruktur nicht mehr wesentlich. Am stärksten ist die Veränderung noch in Kathodennähe, da dort die Felder am grössten sind.

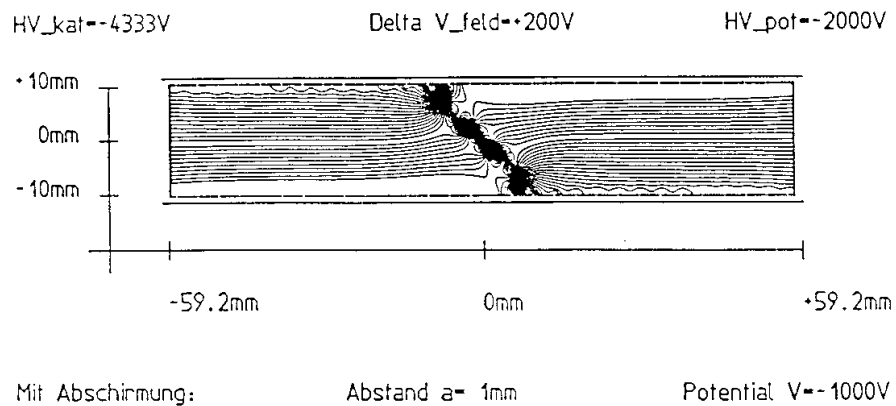


Mit Abschirmung: Abstand $a=50\text{mm}$ Potential $V=0\text{V}$ (Masse)

Figur 30: Abschirmung im Abstand von 50mm

Da der Abstand von 0.5 mm zwischen den Feldformungselektroden bei der Simulation berücksichtigt wurde, deuten die beiden letzten Rechnungen darauf hin, dass der Felddurchgriff durch diese Öffnungen nicht sehr stark ist.

Die grossen Felder zwischen Abschirmung und Kammer werden kleiner, wenn die Abschirmung auf Hochspannung gelegt wird.

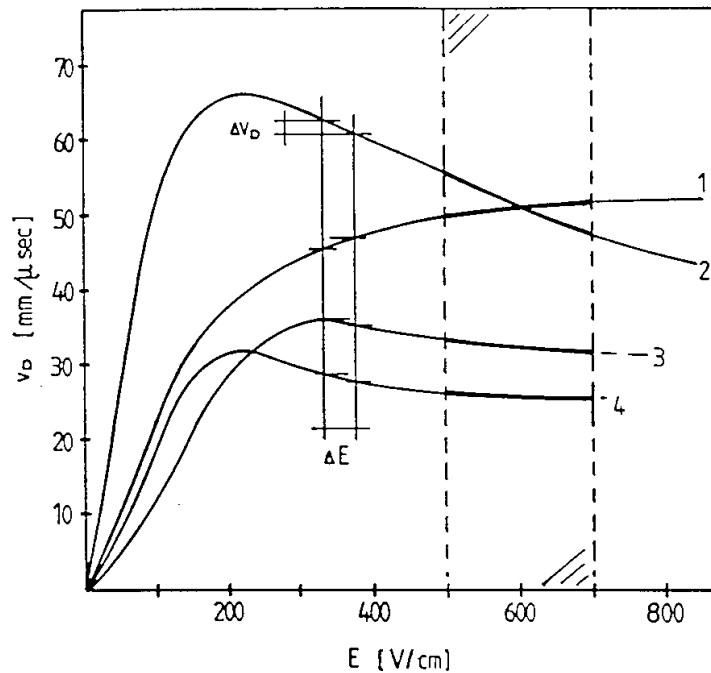


Figur 31: Abschirmung liegt auf Hochspannung (-1000 V)

Da dadurch die Felder kleiner werden, verschwindet der starke Einfluss im Bereich der Kathoden. Die Feldkonfiguration in Figur 31 ist trotz der Abschirmung im kleinen Abstand von 1 mm wieder mit derjenigen aus Figur 22 vergleichbar. Dabei sind die Kathoden- und Potentialdrahtspannungen nicht verändert worden.

4.1.3 DRIFTZEITRECHNUNGEN

Durch die Ausleseelektronik (100 MHz, 6 Bit ADC mit einer Speicherlänge von 2.56 μsec) wird eine maximale Driftzeit von 2.56 μsec festgelegt. Es müssen also Gase verwendet werden, in welchen bei Feldstärken von 500 V/cm – 700 V/cm und Driftlängen von $\sim 6\text{ cm}$ die Driftgeschwindigkeit $v_D \geq 6\text{ cm}/2.56\ \mu\text{sec} \cong 2.5\text{ cm}/\mu\text{sec}$ ist. In der folgenden Figur ist die Driftgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom elektrischen Feld E für einige Gase dargestellt.



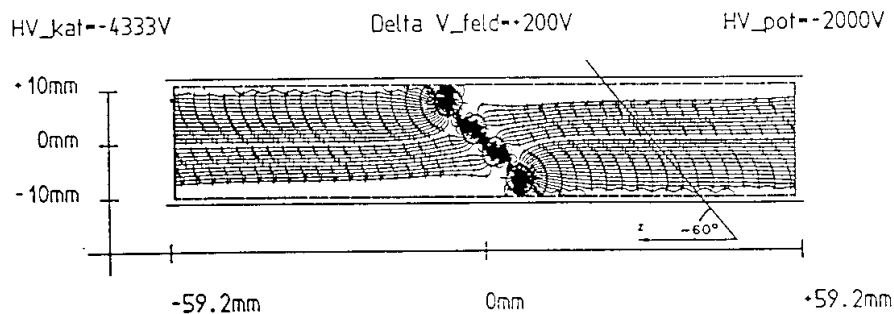
- (1) Argon Ethan 50 – 50
- (2) Argon Methan 80 – 20
- (3) Argon CO_2 96.5 – 3.5
- (4) Argon CO_2 97.9 – 2.1

Figur 32: Driftgeschwindigkeiten in verschiedenen Gasmischen [3]

Bei der Wahl des Gasmisches ist darauf zu achten, dass die Driftgeschwindigkeiten im Bereich der verwendeten Feldstärke möglichst konstant bleiben.

Für ein bestimmtes Gas kann die Driftgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom elektrischen Feld und dem Druck berechnet werden. Ohne äusseres Magnetfeld ist die Richtung der Geschwindigkeit parallel zu den Feldlinien. Die Diffusion der Elektronen in transversaler und longitudinaler Richtung wird vernachlässigt.

Figur 33 zeigt eine Driftzeitrechnung für ein 97% Argon 3% CO_2 Gasgemisch. Die Abstände der Zeitmarken betragen $0.1 \mu\text{sec}$.



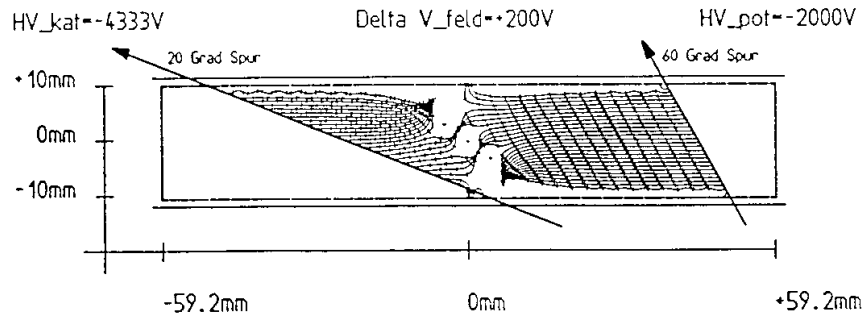
Mit Abschirmung: Abstand $a = 1\text{mm}$ Potential $V = -1000\text{V}$
 Gaszusammensetzung: Argon 97.00% / CO_2 3.00%
 Isochronenabstand: 0.1 Mikrosek

Figur 33: Drift-Rechnung für 97% Argon und 3% CO_2

Man beachte die besonderen Merkmale der Kammerzelle:

- Die Isochronen sind $\sim 60^\circ$ geneigt. Optimale Auflösung wird daher beobachtet, wenn Spuren mit diesem Winkel die Kammer durchqueren, das heisst, die Bahn tangential zu einer Isochrone verläuft (siehe unten).
- Der Einzugsbereich der beiden äusseren Signaldrähte ist auf eine Zellenhälfte beschränkt und beträgt $\sim 50\%$ der Zellenhöhe. An diesen Drähten registriert man grosse Pulse und kann ferner die Spur eindeutig der linken oder der rechten Kammerhälfte zuordnen.
- Die beiden inneren Drähte berücksichtigen nur je 20% der Zellenhöhe. Dadurch erhält man kurze Pulse, welche eine gute Doppelspurauflösung garantieren sollen.

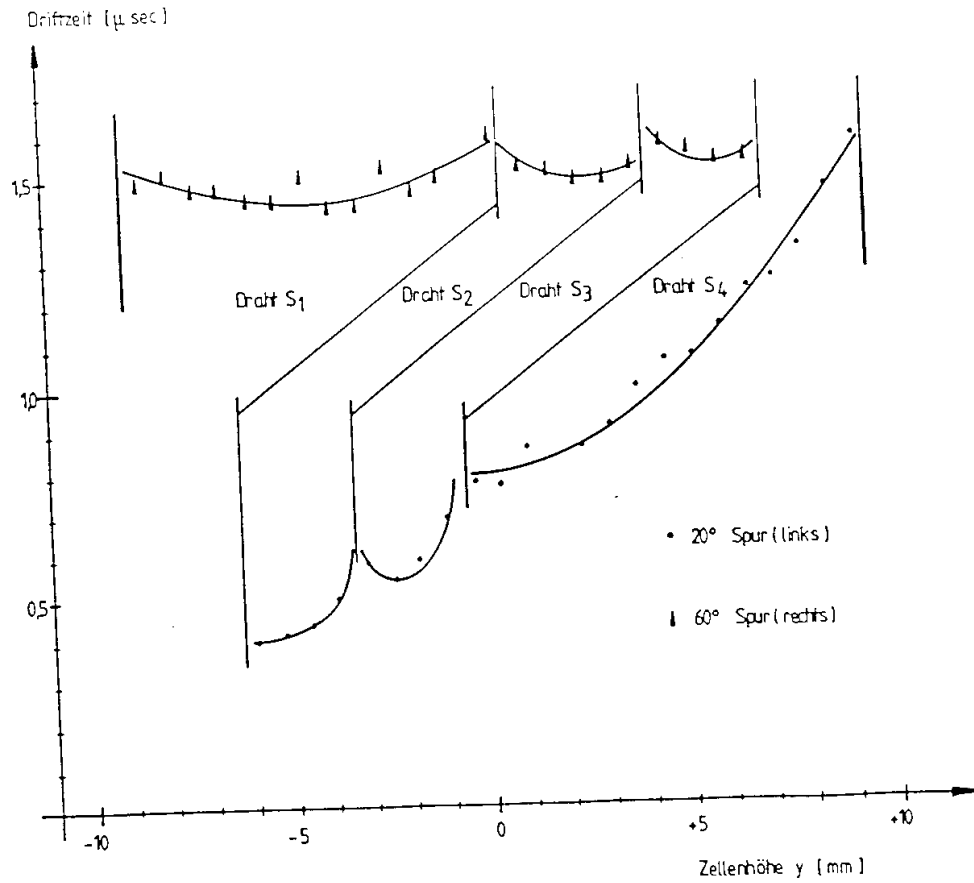
Je kleiner die Zeitdifferenz zwischen dem Eintreffen der Elektronen ist, die auf den gleichen Signaldraht driften, umso grösser ist ihr Anteil an der Erzeugung der Puls-Anstiegsflanke und umso exakter kann die Lage der Spur bestimmt werden. Diese Zeiten können berechnet werden.



Mit Abschirmung:	Abstand $a = 1\text{mm}$	Potential $V = -1000\text{V}$
Gaszusammensetzung:	Argon 97.00% / Co2 3.00%	
Isochronenabstand:	0.1 Mikrosec	

Figur 34: Driftzeitrechnung 60° und 20° Spur

Trägt man die Ankunftszeiten der Elektronen in Abhängigkeit von der Höhe (y -Koordinate) ihres Startpunktes auf, so erhält man daraus Information über die Form der Pulse.



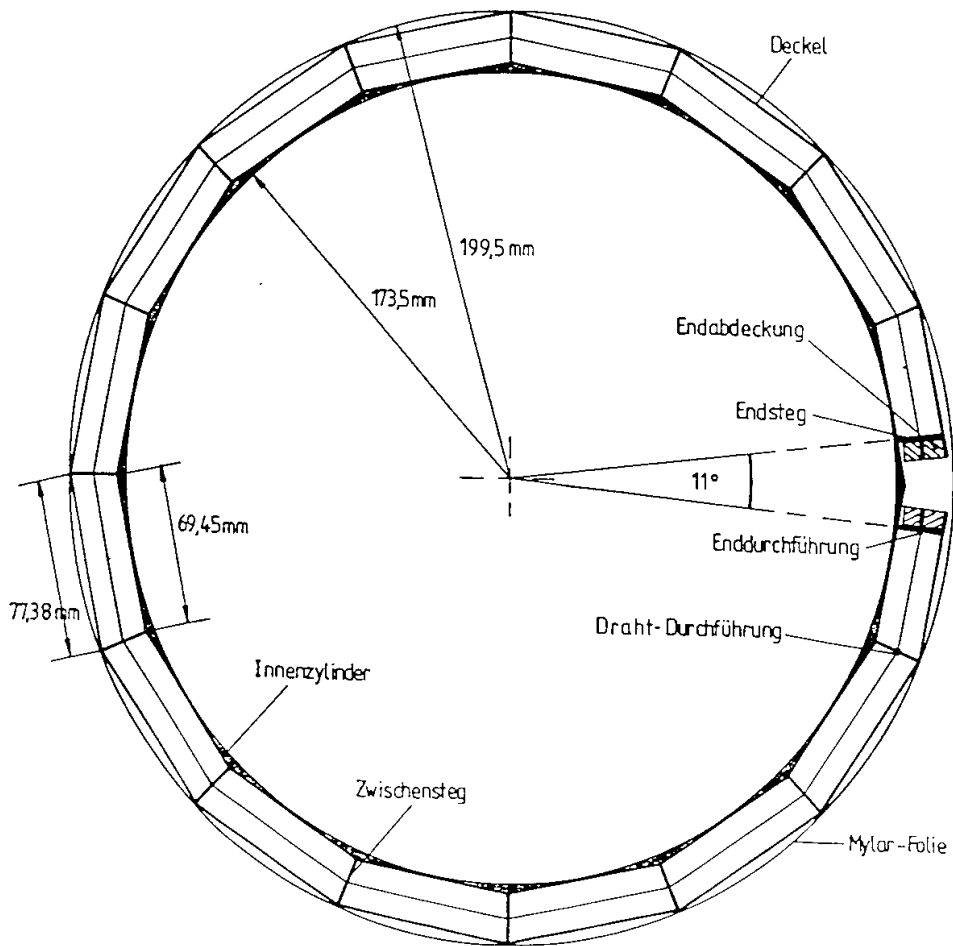
Figur 35: Ankunftszeiten der ersten Elektronen gegen die y -Koordinate des Startpunktes

In der obigen Figur sieht man, dass die Zeitdifferenzen für Spuren unter 60° am kleinsten sind. Sie werden bei anderen Winkeln natürlich grösser. Die Kammer sollte also für Spuren unter 60° die beste Auflösung haben.

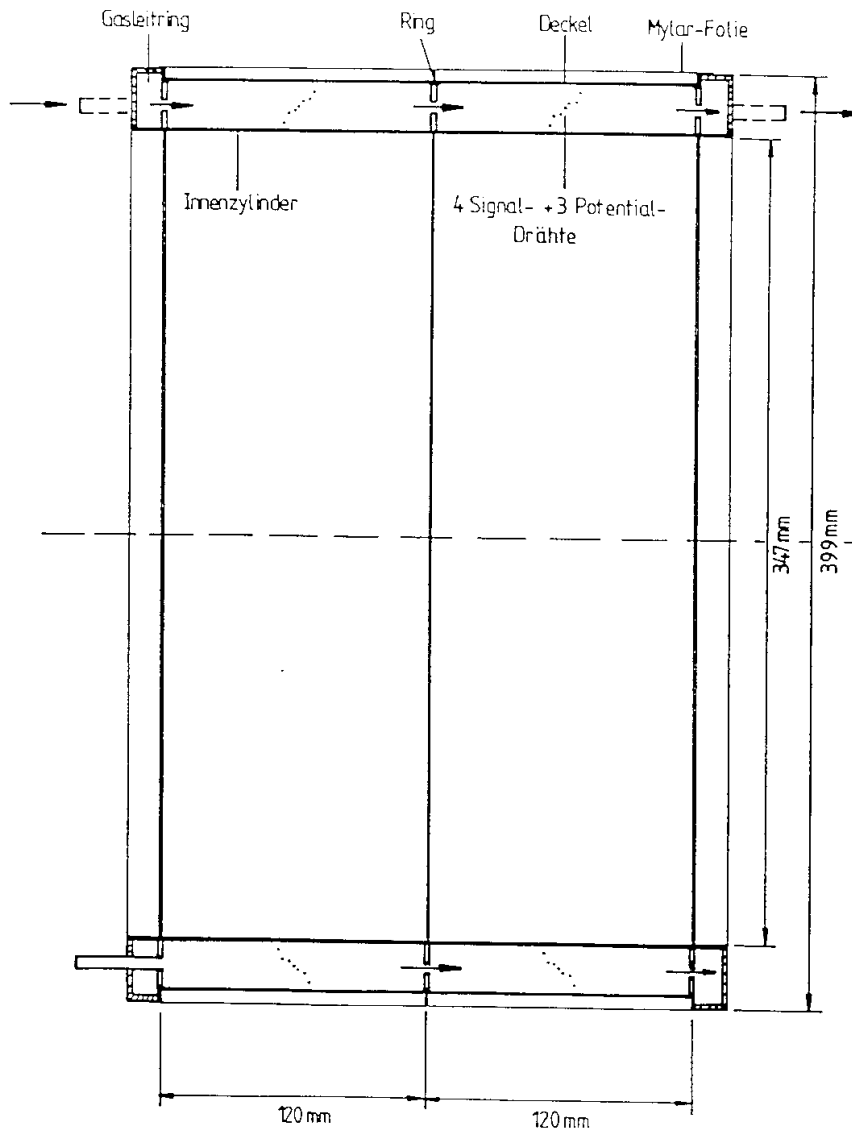
4.2 MECHANISCHE KONSTRUKTION

4.2.1 ÜBERSICHT

Die beiden Figuren zeigen einen Quer- und Längsschnitt des Prototyps. Auf einem bearbeiteten Rohacellzylinder aufgeleimte Ringe und Stege aus Printplattenmaterial bilden die Zellen. Diese Konstruktion gibt die nötige mechanische Festigkeit für die grosse $\sim 2\text{ m}$ lange Kammer. Stege, Ringe, Boden und Deckelfolie sind mit Kupfer beschichtet, um das in der Kammer nötige elektrische Feld erzeugen zu können.



Figur 36: Querschnitt



Figur 37: Längsschnitt

Das Kammergas wird in z-Richtung durch die Zellen geleitet. Der erste Gas-Leitring verteilt das Gas auf alle Reihen; über den zweiten wird es wieder abgeleitet. Beim Prototyp dichtet eine Mylar-Folie die Kammerzelle nach aussen ab.

4.2.2 BESCHREIBUNG DER EINZELNEN BESTANDTEILE

Die Beschreibungen der Kammerteile, welche in obigen Figuren bezeichnet sind, enthalten Angaben über die verwendeten Materialien, den Aufbau und die Verarbeitung. Genauere Zeichnungen finden Sie im Anhang. Der Prototyp wurde in der Werkstatt am Physik-Institut der Universität Zürich gebaut.

Innenzylinder: Er besteht aus Rohacell, auf dessen Innenseite eine $20\ \mu\text{m}$ dicke mit etwa $3\ \mu\text{m}$ Aluminium bedampfte Capton Folie aufgeleimt ist. So wird eine genügend gute Isolation zwischen Abschirmung (Aluminium-Schicht) und Kammerelektroden erreicht. Auf den 16-eckigen Zylinder wird die Kammerbodenfolie ($80\ \mu$ Capton mit etwa $40\ \mu$ dicken Kupferstreifen) geklebt.

Ringe: Sie sind aus Leiterplattenmaterial von $1.6\ \text{mm}$ Dicke mit einer $35\ \mu\text{m}$ Kupferbeschichtung (Kathode) gearbeitet. Genau ($1/100\ \text{mm}$) gefräste Fugen und Kanten ermöglichen eine einfache Positionierung des Deckels und der Stege. In die Ringe werden die Löcher, durch welche das Gas strömt, gebohrt. Diese sollen nicht zu gross sein, da sie die Kathodenfläche verkleinern und damit das Feld stören. Wegen des durch sie erzeugten Druckabfalls, der sich mit dem Gesetz von Hagen-Poiseuille abschätzen lässt, dürfen sie aber auch nicht zu klein sein.

Es gilt:

$$Q = \frac{\pi \Delta p R^4}{8 \eta L}$$

Q = Druckflussmenge / Zeit
 Δp = Druckdifferenz
 R = Radius des Rohres
 L = Länge des Rohres
 η = Viskosität

Die Viskosität für die Gase findet man in [13]

$$\text{Argon (Ar)} \quad \eta = 221.7\ \mu\text{poise}$$

$$\text{CO}_2 \quad \eta = 182.7\ \mu\text{poise}$$

$$\text{Ethan (C}_2\text{H}_6) \quad \eta = 90.1\ \mu\text{poise}$$

Unter der Annahme, dass nach 3 Stunden das Kammergas vollständig ausgetauscht sein soll, gilt für den Prototyp:

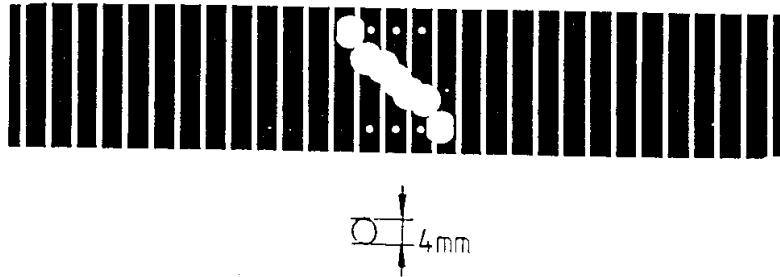
$$Q = \frac{2 \text{ Zellen} \cdot \text{Zellenvolumen}}{\text{Zeit}} \cong \frac{2 \cdot 0.02 \text{ m} \cdot 0.07 \text{ m} \cdot 0.12 \text{ m}}{3 \cdot 3600 \text{ sec}} = 3.1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 / \text{sec}$$

Die Zellen werden durch 6 Löcher von 3 mm Durchmesser und 1.6 mm Länge verbunden, das ergibt einen Druckabfall von:

$$\Delta p = \frac{1}{6} \cdot \frac{Q \cdot 8\eta \cdot L}{\pi R^4} \cong 1 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \quad (\eta = \eta_{\text{Argon}})$$

Stege: Sie werden wie die Ringe mit dem Innenzylinder verleimt. Dadurch wird die nötige mechanische Stabilität erreicht. Die Drähte werden durch in die Stege eingepresste Durchführungen gestützt.

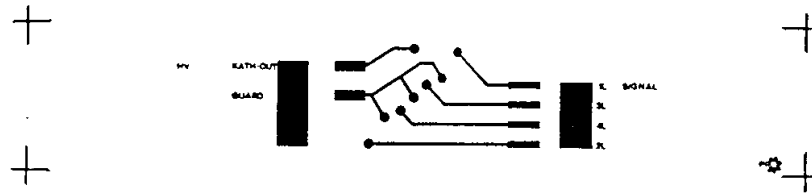
Zur Feldformung im Stegbereich sind sie mit Kupferstreifen beschichtet, die mit denjenigen am Kammerboden elektrisch verbunden werden. Im Bereich der Drähte sind die unterbrochenen Streifen über eine dritte, mittlere im Stegmaterial verlaufende Leiterschicht verbunden.



Figur 38: Kupferbeschichtung eines Steges —
die im Drahtbereich unterbrochenen Streifen sind sichtbar

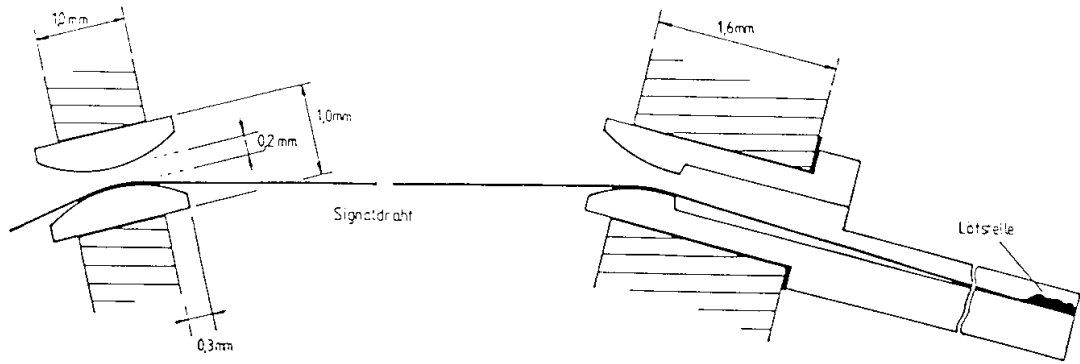
Die Zwischenstege aus 1 mm dickem Leiterplattenmaterial sind beidseitig gleich mit etwa 40 μ Kupfer beschichtet.

Die Endstege sind 1.6 mm dick, um der mechanischen Spannung der Drähte besser standzuhalten. Die Zelleninnenseite ist gleich wie die Zwischenstege beschichtet. Die Kontaktfedern, welche die elektrische Verbindung zu den Deckelektroden gewährleisten sowie die Spannungsteiler-Widerstände in SMD Technik, sind am Endsteg festgelötet. Auf der Aussenseite sind die eingepressten Enddurchführungen über Leiterbahnen mit den auf dem Steg befestigten Steckkontakten verbunden.

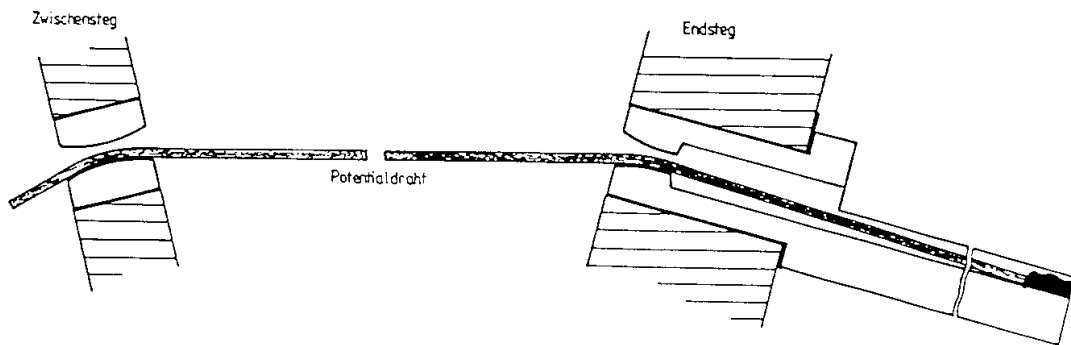


Figur 39: Beschichtung einer Endstegaussenseite

Durchführungen: Die Durchführungen müssen eine genaue Positionierung und eine feine Umlenkung der Drähte ermöglichen. Es sind 4 verschiedene Typen von uns entworfen und industriell [14] aus Messing gefertigt worden. Die Signaldrahtdurchführungen stehen 0.3 mm aus dem Stegmaterial heraus. Dadurch sind die Felder in diesem Bereich klein, was die Gasverstärkung und die damit zusammenhängende Ionenbildung verhindert. Diese könnten sich nämlich am Isolator anlagern und störende Gegenfelder erzeugen (siehe auch [11]). Die Potentialdrahtdurchführungen sind nur 1 mm lang und stecken vollständig im Stegmaterial.



Figur 40: Signaldrahtdurchführungen



Figur 41: Potentialdrahtdurchführungen

Auf der halbzyylinderförmigen Verlängerung der Enddurchführungen werden die Drähte festgelötet.

Endabdeckungen: Die Endabdeckungen aus Plexiglas sollen verhindern, dass sich die Zone um die Endstegdurchführungen mit Gas füllt. Das gewährt eine bessere Durchschlagsfestigkeit. Sie dienen zusätzlich als Führungen für die Steckkontakte.

Deckel: Auf die kupferbeschichtete Capton-Folie (die gleiche wie die Bodenfolie) wird 1 mm Rohacell und darüber wieder 20 μ Kapton geklebt. Die Aluminiumschicht einer dritten 20 μ Capton-Folie (die gleiche wie die Zylinderinnenfolie) dient als äussere Kammerabschirmung.

Potentialdrähte: 180 μm dicker Silberdraht im 1. Ring
120 μm dicker Kupferdraht im 2. Ring

Signaldrähte: Um Ladungsdifferenzen zwischen den Signalen an den beiden Enden der Drähte festzustellen, müssen Drähte mit grossem Widerstand R verwendet werden:

20 μ Stableohm $R \cong 4.5 k\Omega/m$ im 1. Ring

20 μ Egiloy $R \cong 3 k\Omega/m$ im 2. Ring.

4.2.3 KURZE BESCHREIBUNG DES KONSTRUKTIONSVORGANGES

Der Prototyp wird auf einem Metallzylinder mit dem Kammerinnendurchmesser zusammengebaut. Auf die aufgezugene Capton Folie wird das vorgeformte 6 mm dicke Rohacell geklebt. Aus diesem Rohzylinder werden die 16 Zellenbodenflächen geschliffen. Die Bodenfolie, die bearbeiteten Ringe und die Stege (Stege mit den eingepressten Durchführungen) werden dann auf der Drehbank genau justiert und auf diesen Zylinder geleimt. Eine weitere zeitaufwendige Arbeit ist das Verbinden der Boden-Leiterstreifen mit denjenigen der Stege (pro Ring sind es $2 \cdot 16 \cdot 31 = 992$ Verbindungen). Lötverbindungen haben sich hier am besten bewährt. Mit dem verwendeten Leitsilber sind schlechte Erfahrungen gemacht worden (Löslichkeit durch Putzmittel, eventuelle Kurzschlüsse zerstören Verbindungen). Nach dem gründlichen Reinigen der ganzen Kammer können die Drähte gespannt werden. Da die Zellenbreite nur etwa 7 cm ist, genügt eine Spannung von 20 g.

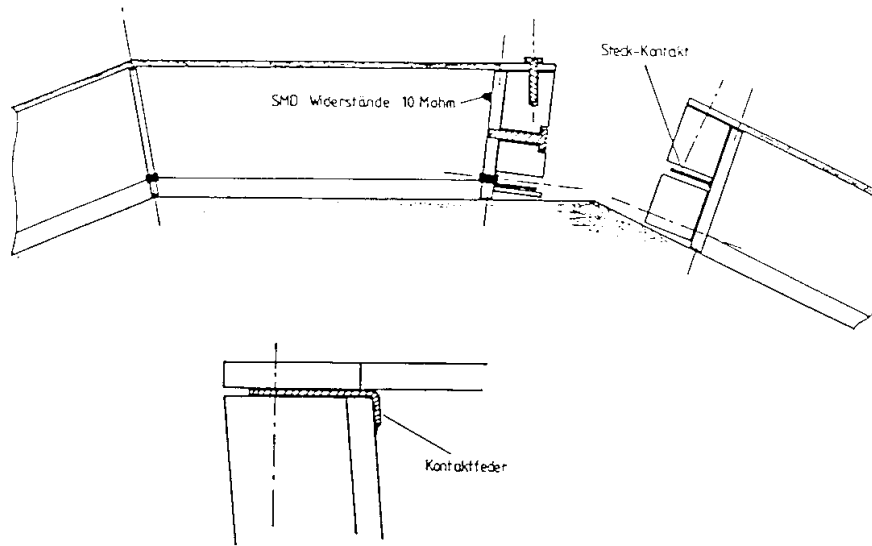
Der Deckel wird auf einem Aluminium-Zylinder, mit den Kammerkonturen, zusammengeleimt. Beim Leimvorgang werden die einzelnen Schichten durch Erzeugen eines Unterdruckes zusammengepresst.

Der fertiggestellte Deckel wird schliesslich auf die Kammer gelegt und an den Endabdeckungen festgeschraubt. Zum Schluss wird die Kammer vom Zylinder weggezogen.

Strahlungslänge unter 90° durch die Zelle $\sim 0.06\%$

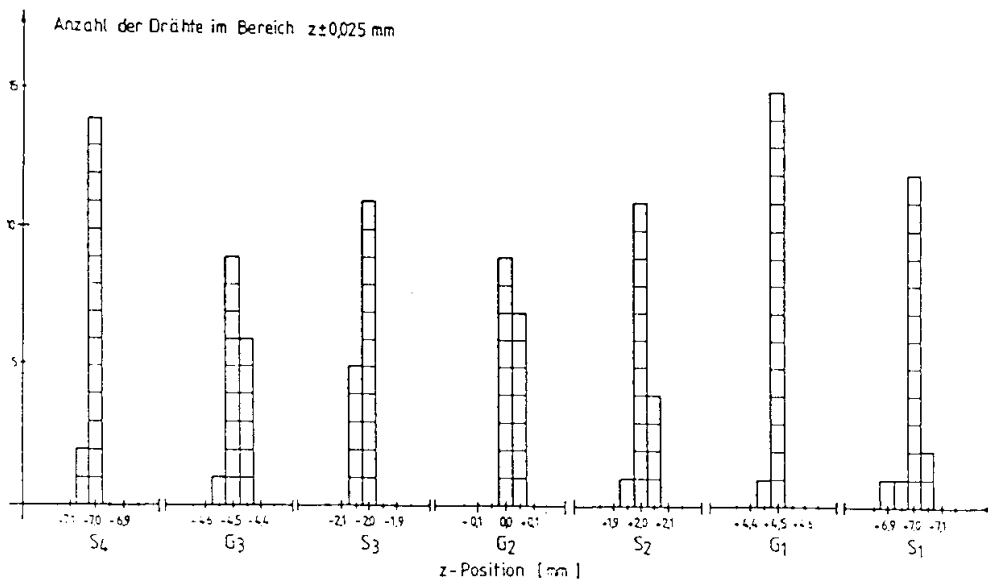
Gewicht des Prototyps: 1400 Gramm

Figur 42 zeigt die speziellen Teile in der Kammerendzone. Die Widerstände für den Feldformungs-Spannungsteiler und die Kontaktfedern für die Verbindung zu den Deckelektroden sind auf der Zelleninnenseite der Endstege direkt auf die Kupferstreifen gelötet. Über die Steckkontakte auf der Stegaussenseite werden die Kabel mit der Kammer verbunden.



Figur 42: Übersicht über die Kammerendzone

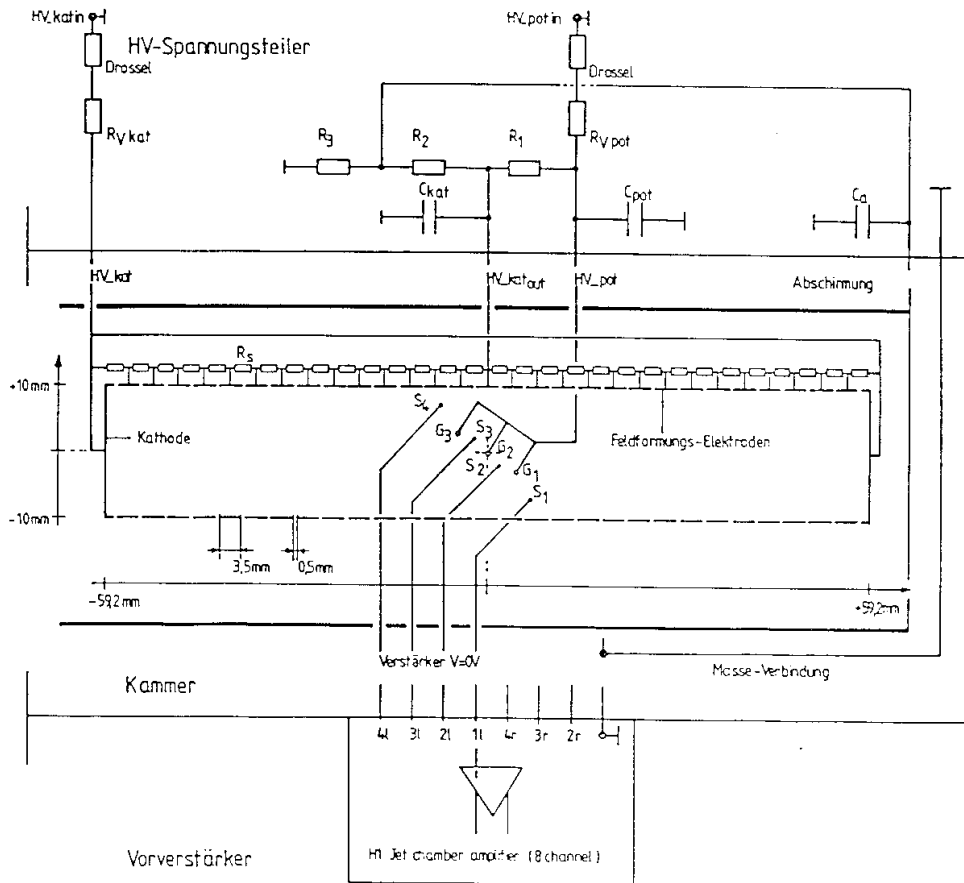
Auf der Drehbank wurde die z-Position der Drähte mit einer Lupe vermessen. Die Figur zeigt die gemessenen Drahtpositionen in Zellenmitte für einen Ring.



Figur 43: Drahtpositionen

4.3 DIE KAMMERELEKTRONIK

Der Hochspannungsteiler besteht aus einem Kathoden- und einem Potentialdraht-Spannungsteiler, die miteinander gekoppelt sind. Im Kathodenkreis sind die Widerstände gross gewählt ($10\text{ M}\Omega$), was kleine Ströme bewirkt. Da die Ionenströme vor allem über die Potentialdrähte und die in der Zellenmitte liegenden Feldformungselektroden abfliessen werden, bewirkt die Kopplung an den Potentialkreis mit kleinen Widerständen, das heisst grossen Strömen, stabile Spannungen am Knotenpunkt.



Figur 44: Übersicht über die Elektronik

Die Signaldrähte werden auf beiden Seiten (Ladungstrennung liefert φ -Information) über einen 8-kanaligen H1 Jet-Kammer Verstärker (Datenblatt im Anhang) ausgelesen.

Die Signale werden dann in einem CAMAC FADC Modul (DL 101), das an der Universität Heidelberg entwickelt wurde, digitalisiert. Die Vorwiderstände sind im Hochspannungsteiler so gewählt, dass für die Spannungen HV_{-kat} und HV_{-pot} der berechneten Feldstruktur die Versorgungsspannung des Kathodenkreises genau das Doppelte derjenigen des Potentialkreises ist.

Die Widerstandswerte betragen:

$$R_{V_{kat}} = 6.14 M\Omega \quad R_1 = 2.67 M\Omega$$

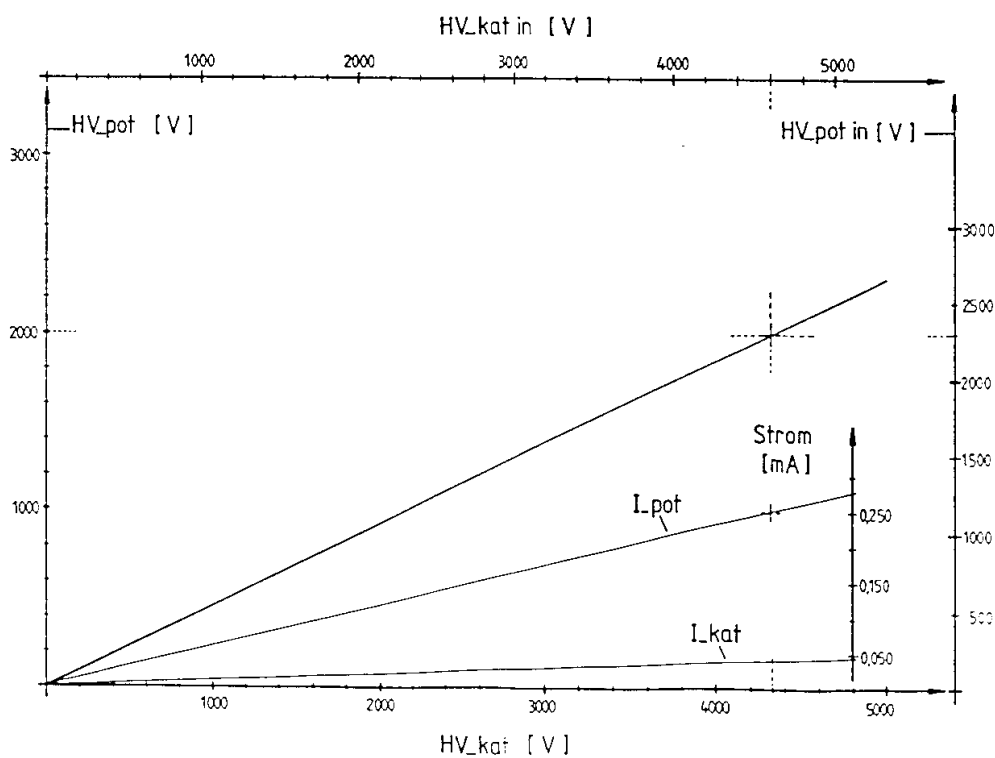
$$R_{V_{pot}} = 1.17 M\Omega \quad R_2 = 0.93 M\Omega$$

$$R_s = 9.76 M\Omega \quad R_3 = 3.66 M\Omega$$

Die Werte für die Kondensatoren sind $C = 6.8 nF / 3000 V$.

Mit diesen Widerstandswerten ist: $HV_{-kat} = 0.95 \times HV_{-pot}$ in $HV_{-kat} / HV_{-pot} = 2.166$

$$HV_{-pot} = 0.87 \times HV_{-pot}$$
 (siehe 4.1.2)



Figur 45: Zusammenhang zwischen Versorgungsspannungen und der Hochspannung an Kathode und Potentialdrähten sowie die entsprechenden Ströme im Potential- und Kathodenkreis

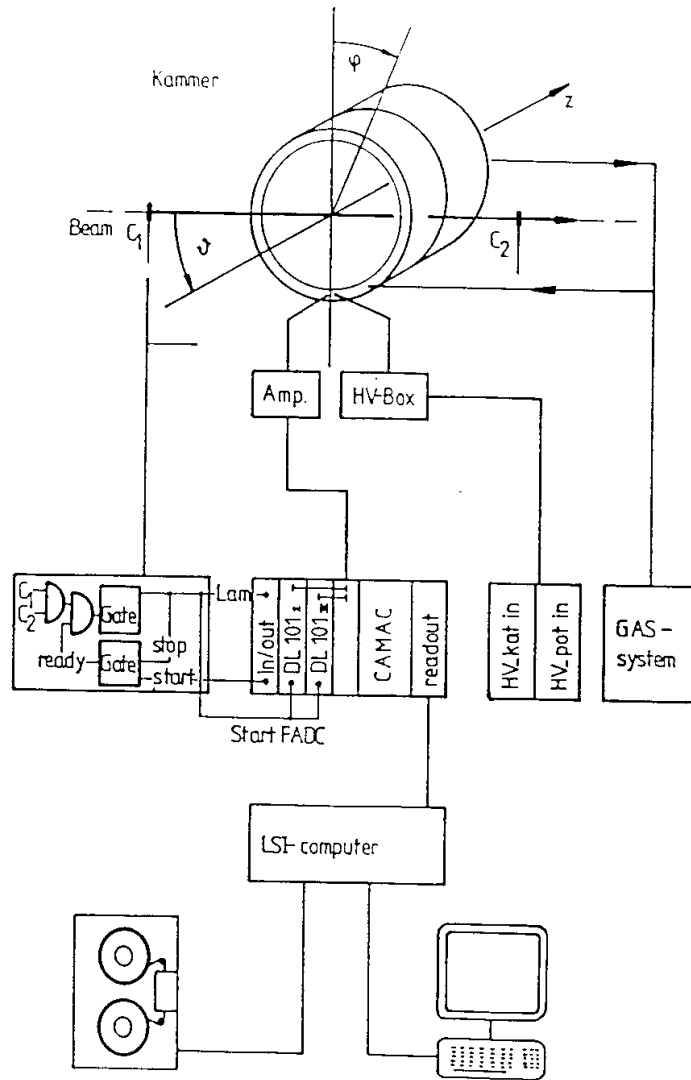
5. ERSTE KAMMERTESTS

Nach ersten Messungen im Herbst 1987 wurden verschiedene Verbesserungen an der Kammer vorgenommen.

- Die Aluminium-Abschirmfolien wurden durch Aluminium bedampfte Capton Folien ersetzt.
- Die Leitsilberverbindungen wurden überprüft und davon die für das Funktionieren der Kammer wichtigen durch Lötverbindungen ersetzt.
- Durch eine verbesserte Kabeldurchführung wurde die Kammer gasdicht gemacht.
- Es wurde ein neuer kurzschlussfester Hochspannungsteiler gebaut.

Die verbesserte Kammer stand im Frühling dieses Jahres für Messungen mit kosmischer Strahlung und einer β -Quelle am Physik Institut und im Strahl am PSI wieder zur Verfügung. Im folgenden möchte ich nur ganz kurz die Messanordnung sowie einige Messkurven aufführen. Die eigentliche Aufgabe dieser Arbeit war die Konstruktion des Prototyps. Die ersten Resultate zeigen, dass die Kammer befriedigend funktioniert und dass die hier gefundenen konstruktiven Lösungen für die endgültige Kammer übernommen werden können.

Figur 46 zeigt die Messanordnung, das verwendete Datenerfassungsprogramm ist in [10] beschrieben. Die beiden Zähler C_1 und C_2 liefern das Startsignal für die FADCs, welche nur gestartet werden können, wenn das System dazu bereit ist.



Figur 46: Messanordnung

Die folgenden Werte wurden mit einer Ruthenium (3.5 MeV) Elektronenquelle gemessen. Der Strahl hatte in der Zelle einen Durchmesser von etwa 2 cm . Die Empfindlichkeit ϵ eines Drahtes ist definiert als:

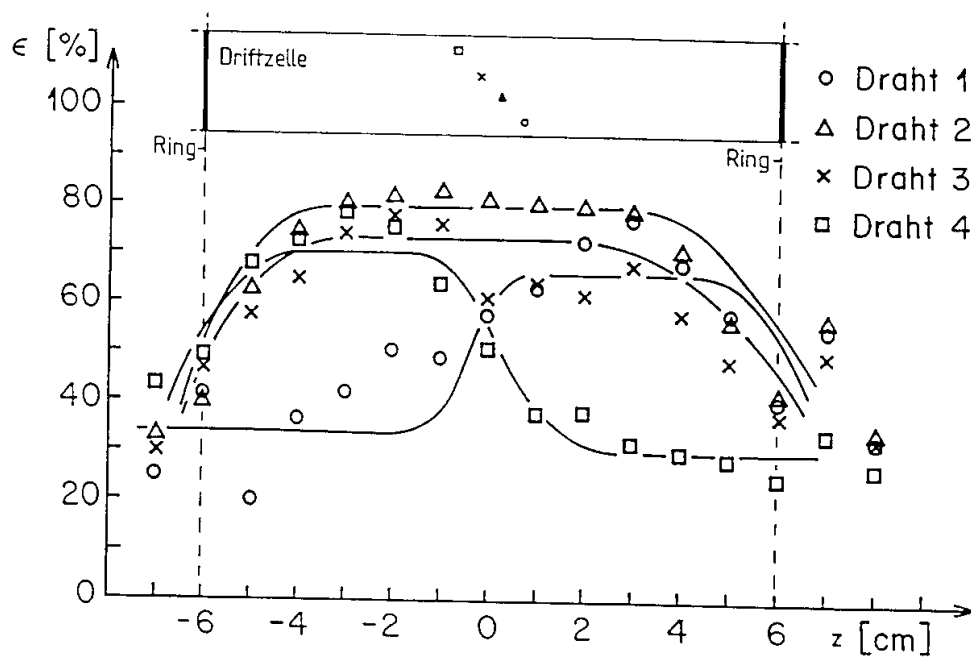
$$\epsilon = \frac{\text{Zahl der gefundenen Pulse}}{\text{Zahl der analysierten Ereignisse}}$$

Betriebsspannungen der Kammer: $HV_{\text{-kat in}} = 3680\text{ V}$ $HV_{\text{-kat}} \cong 3500\text{ V}$

$HV_{\text{-kat}} = 1840\text{ V}$ $HV_{\text{-pot}} = 1600\text{ V}$ Oberflächenfeld an den Signaldrähten: $\sim 200\text{ kV/cm}$

Gasgemisch: $3.25\% \text{ CO}_2 / 96.75\% \text{ Ar} \rightarrow v_D = 32.8\text{ mm/sec}$

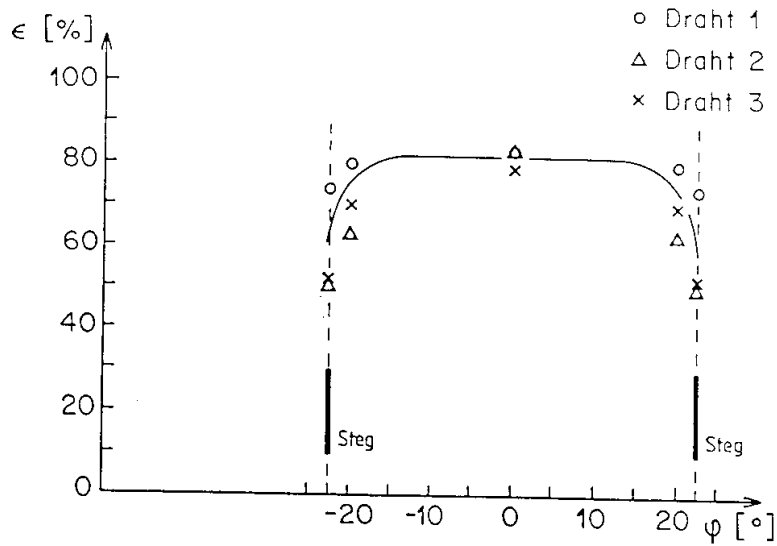
Die Kammer wurde bei unverändertem Strahlwinkel $\Theta = 60^\circ$ in z -Richtung verschoben, um die Ansprechwahrscheinlichkeit der Kammer im Ringbereich zu zeigen.



Figur 47: Die Kammer ist in z -Richtung verschoben worden

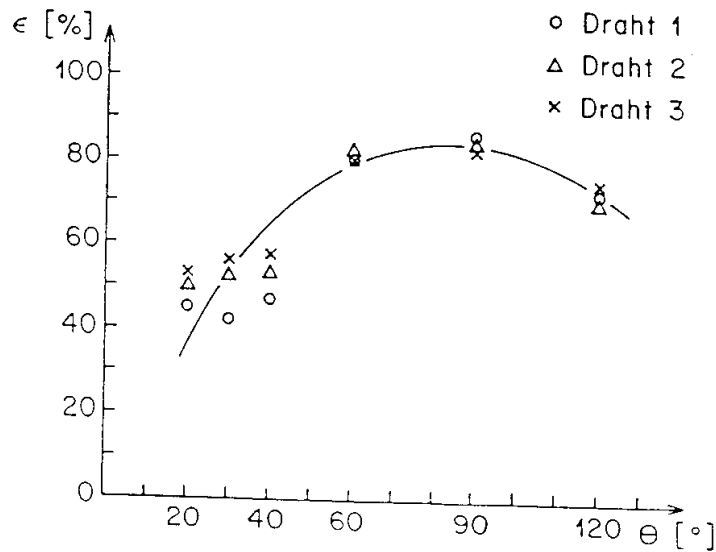
Die Drähte 2 und 3 sind über den ganzen Zellenbereich, Draht 1 und Draht 4 nur für eine Zellenhälfte empfindlich. Vermutlich ist die Zählrate wegen Untergrund-Ereignissen im unempfindlichen Bereich nicht null. Höhere Betriebsspannungen erzeugten zu hohe Kammer signale, die vom FADC nicht mehr verarbeitet werden konnten. Deshalb liegt das Plateau nur bei 80%.

Um die Frage, wie weit die Stege die Ausbeute reduzieren zu beantworten, wurde die Kammer um die z-Achse in φ -Richtung gedreht.



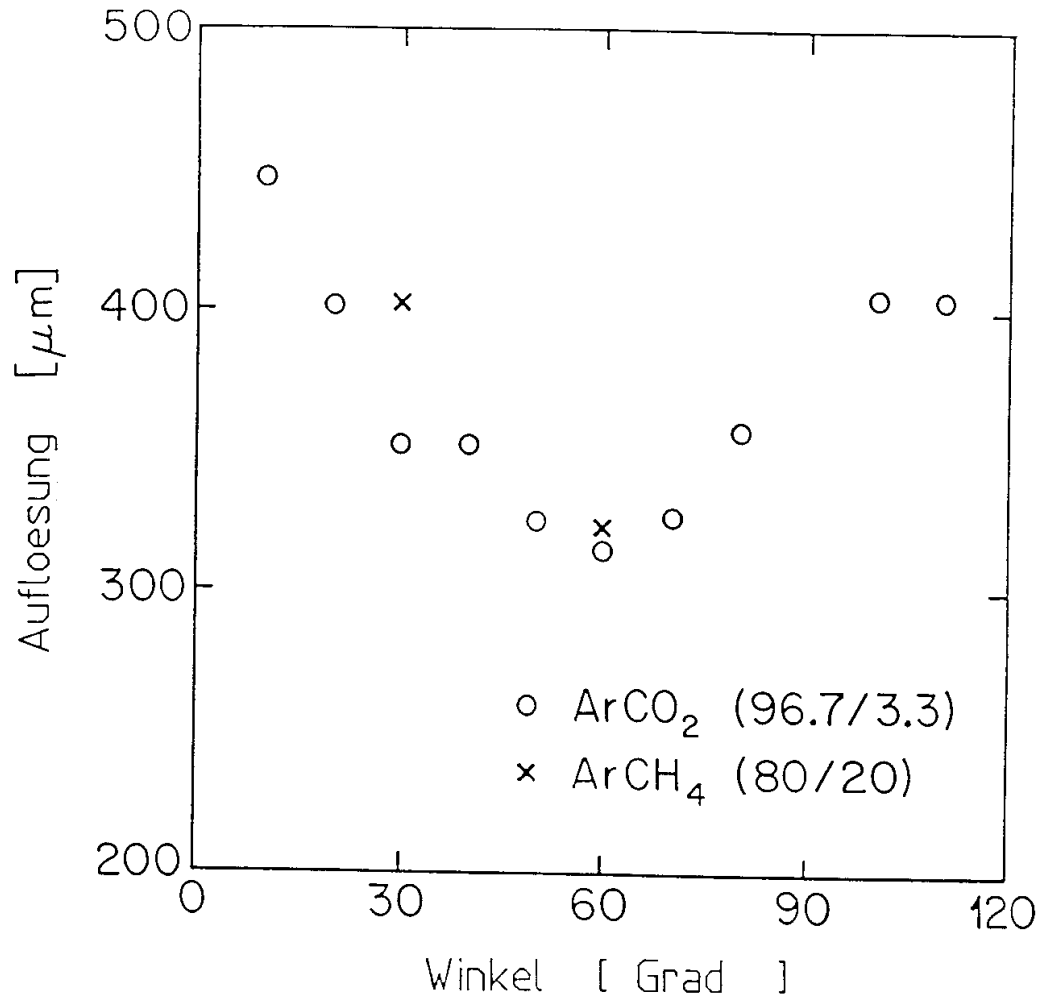
Figur 48: Empfindlichkeit über den Stegbereich

In der letzten Messung wurde der Strahlwinkel Θ verändert, um den Nachweis von Spuren unter kleinen und grossen Winkeln zu untersuchen.



Figur 49: Empfindlichkeit für verschiedene Winkel Θ

Das letzte Bild zeigt die Auflösung in Abhängigkeit des Strahlwinkels θ . Sie wurde am PSI mit einem Elektronenstrahl gemessen. Die Auswertungsmethode ist in [7] beschrieben.



Figur 50: Auflösung in Abhängigkeit von θ

6. ZUSAMMENFASSUNG

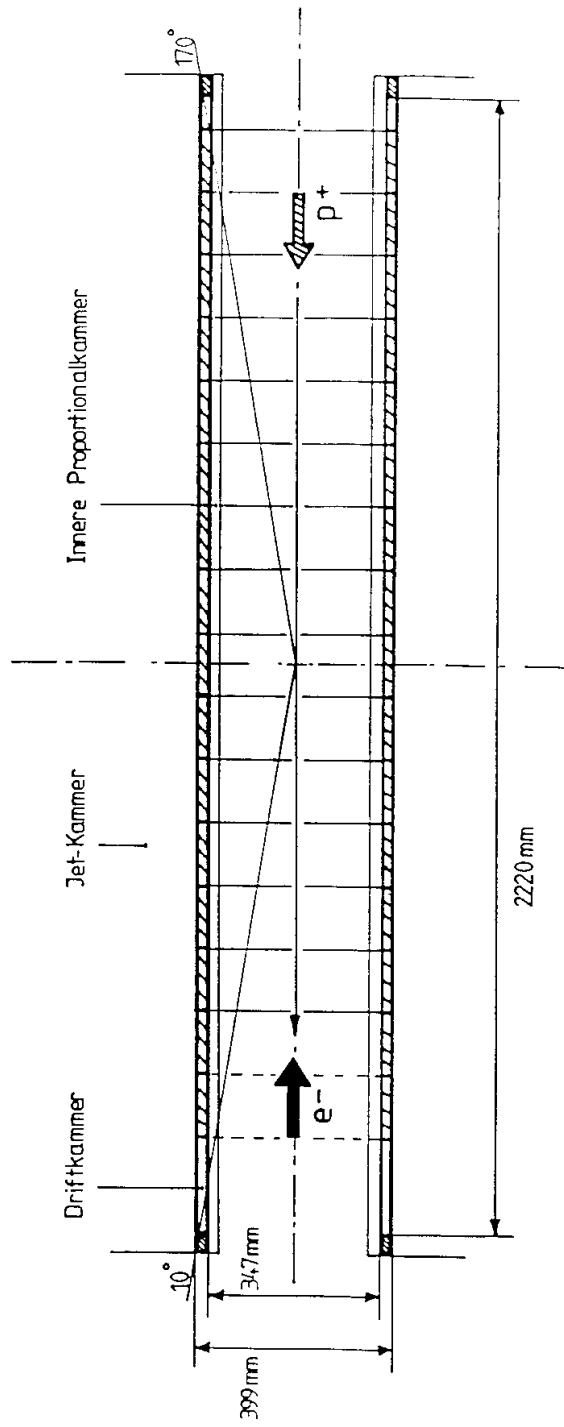
Die durchgeführten Messungen deuten darauf hin, dass die Kammer den wichtigsten Forderungen entspricht. Da die Simulation der Feldkonfiguration die verwendeten Dielektrika nicht berücksichtigt, muss das Kammerverhalten noch detailliert untersucht werden. Die Effizienz über den ganzen Zellenbereich sollte noch genauer gemessen werden. Eventuell könnte der Einzugsbereich der äusseren beiden Signaldrähte durch zwei zusätzliche Potentialdrähte (Figur 51) verkleinert werden. Die Elektronen aus der inhomogenen Zellenrandzone könnten so unterdrückt werden.



Figur 51: Rechnung mit 7 Potentialdrähten

Die später eingebauten längeren Signalkabel bewirkten längere Pulsanstiegszeiten, die jedoch, wie Messungen mit verschiedenen Kabellängen zeigten, nicht längenabhängig sind. Eventuell könnte die Anstiegszeit durch eine bessere Anpassung des Verstärkereingangs wieder verkürzt werden. Am besten wäre es wahrscheinlich, die Vorverstärker direkt am Ringende in die Endabdeckungen einzubauen.

Die in Figur 50 gezeigte Auflösung in Abhängigkeit des Winkels Θ entspricht den im H1-Proposal gesetzten Erwartungen. Die H1 z-Driftkammer kann daher aus 14 - 16 Ringen aufgebaut werden (Figur 52). Dabei sollten die Hochspannungskabel unter den Stegen im Rohacellzylinder verlegt werden, um die Endzone möglichst klein zu machen. Die äussere Abschirmung sollte keine Unterbrüche über dem Ringbereich haben, da dort die Gefahr von Durchschlägen am grössten ist. Mit dünneren ($5 - 10 \mu m$) Kupferbeschichtungen könnte die Strahlungslänge der Kammer noch verkleinert werden.

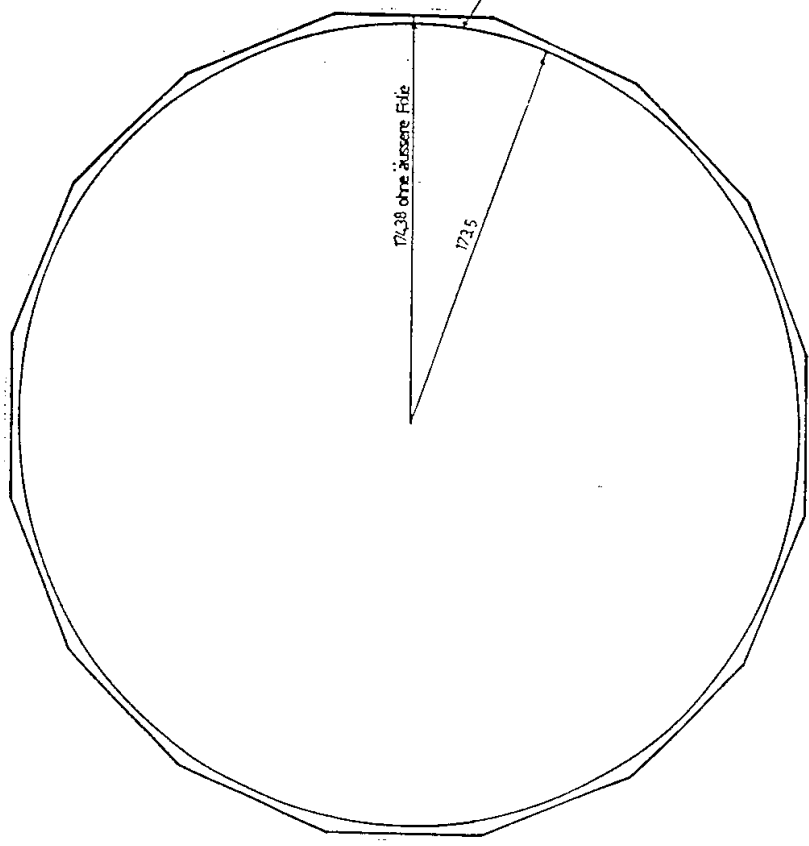


Figur 52: Die Driftkammer mit 14 oder 16 Ringen

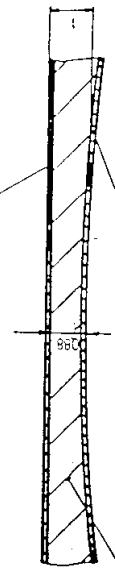
REFERENZLISTE

- [1] F. Bourgois: CERN NP / OM / 75 / 102, 1975.
- [2] G.A. Erskine: Nucl. Instr. and Meth. **105**(1972),565.
- [3] J. Fehlmann, J. Paradiso, G. Viertel: Compilation of data for drift chamber operation. A: Electron drift velocity, July 1982.
- [4] J. Fehlmann, J. Paradiso, G. Viertel: Wircha: A programm package to simulate drift chambers, March 1983.
- [5] Th. Kunst, Diplomarbeit: Untersuchungen zu Pulsform und Ortsauflösung von Driftkammern. Physik Institut der Universität Heidelberg, September 1986.
- [6] G. Merki, Diplomarbeit: Planung und Test einer Driftkammer. Physik Institut der Universität Zürich, 1987.
- [7] C.A. Meyer: Analysis of Source and Cosmic Data in the Ciz Chamber, Physik Institut der Universität Zürich, 1988.
- [8] F. Sauli: Principles of operation of multiwire proportional and driftchambers. CERN 77-09, 1977.
- [9] G. Schultz: CERN EP 76-19, 1976.
- [10] U. Straumann: Drift chamber data acquisition for H1. Physik Insitut der Universität Zürich, 1987.
- [11] W. Wietbrock: Untersuchungen zum Bau einer grossen Polygon-Driftkammer. Fachbereich Physik der Universität Hamburg.
- [12] G. Wolf: Deutsches Elektronen-Synchrotron, DESY, Hamburg, 1986, DESY 86-089.
- [13] Handbook of Chemistry and Physics, 57th Edition, 1976-1977.
- [14] Henry Girod SA, 2738 Court

ANHANG

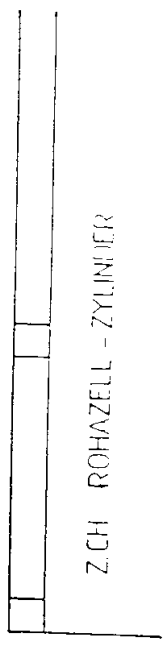


Kaptonfolie mit Leiterbahnen 0,12

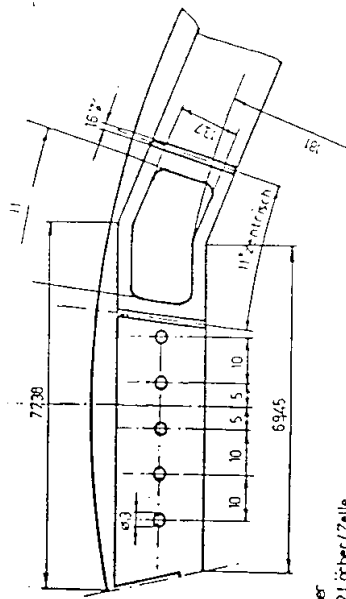


aluminumbeschichtete Kaptonfolie 25 μ

Folien mit AVB4 / HV994 (100:40 / 15g/m²) kleben



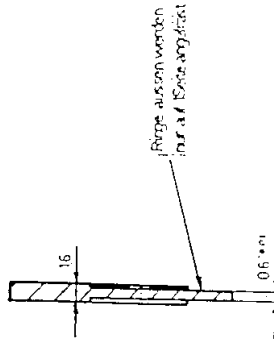
Z.CH ROHAZELL - ZYLINDER



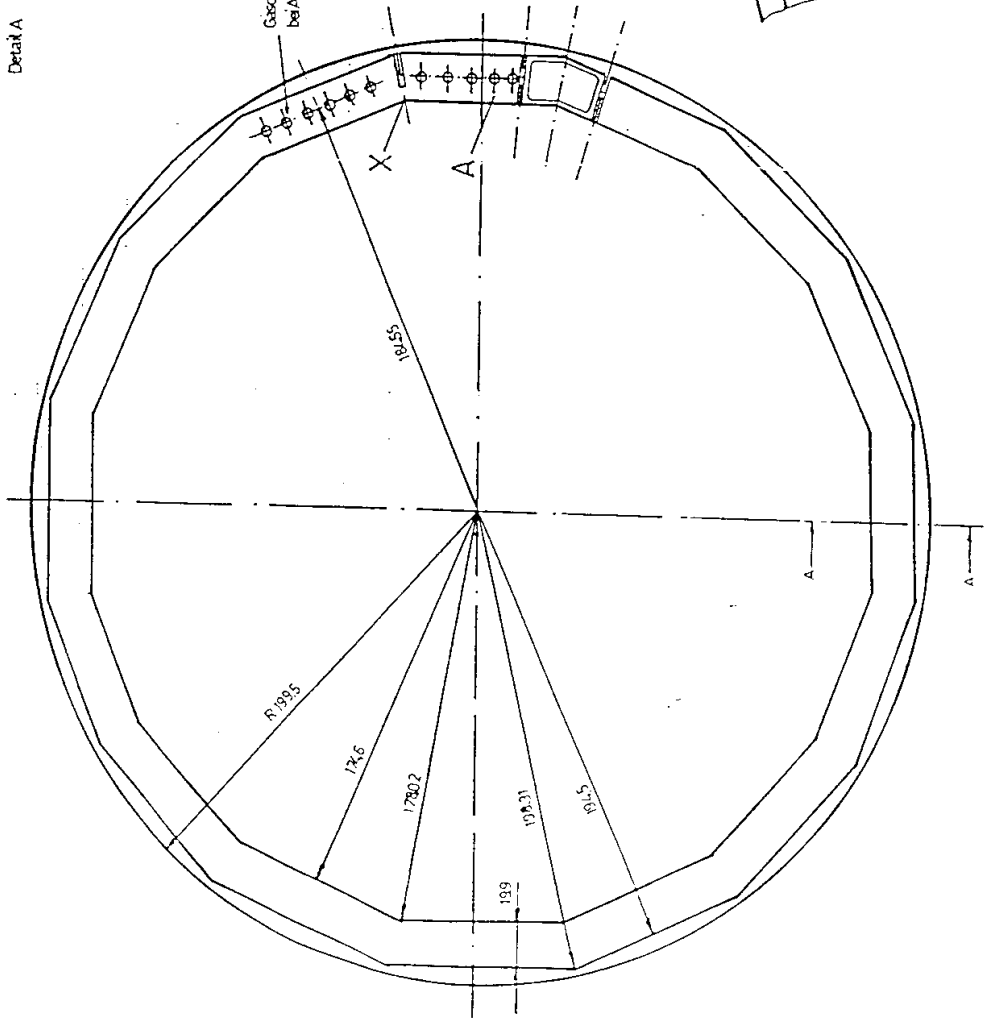
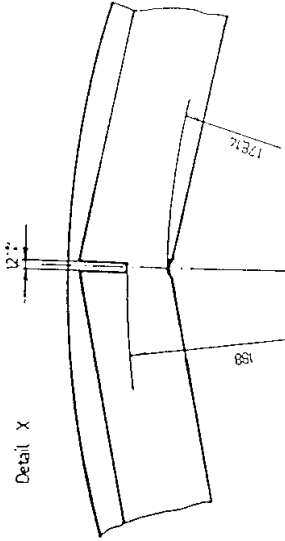
Detail A

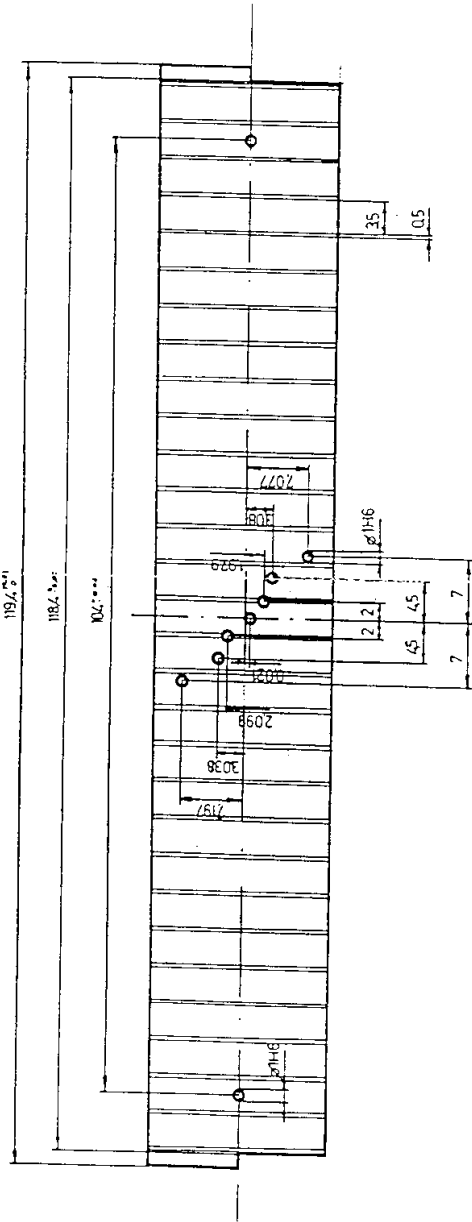
Gasdurchführungslöcher
bei Auslenkung nur 2 Löcher/Zelle

Schnitt-AA

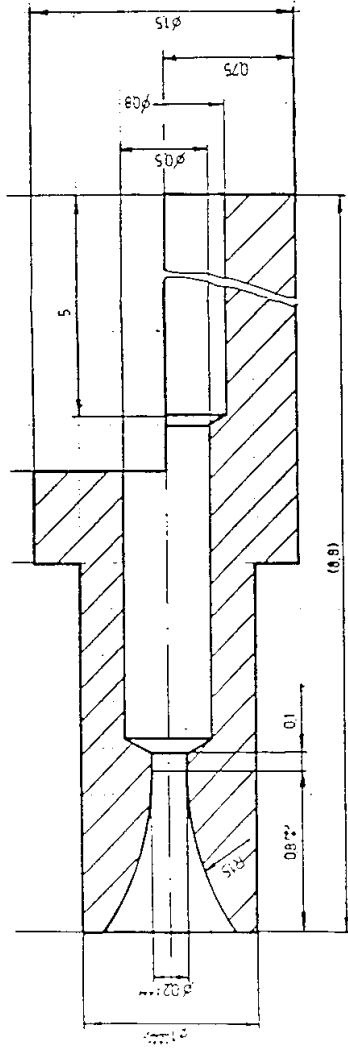


Detail X

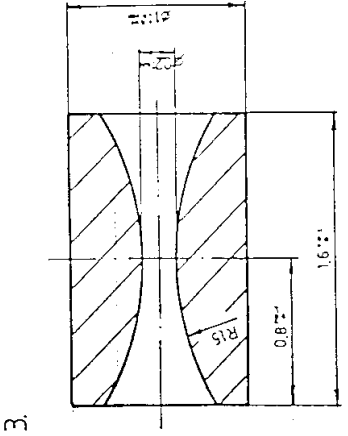
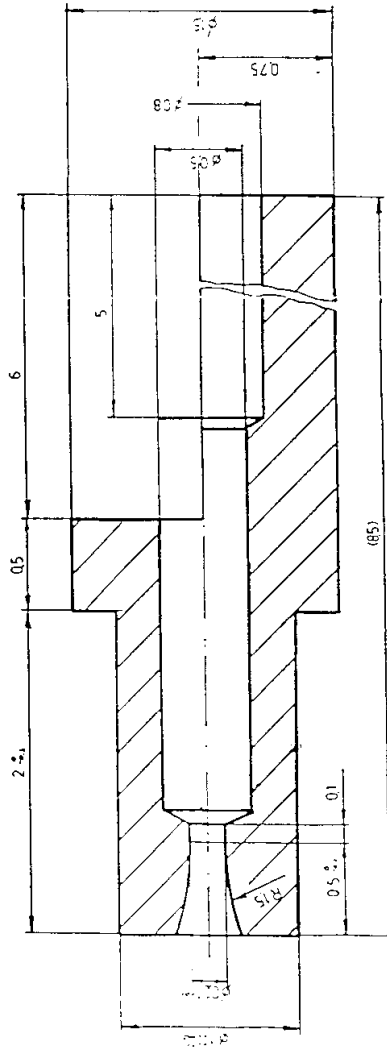




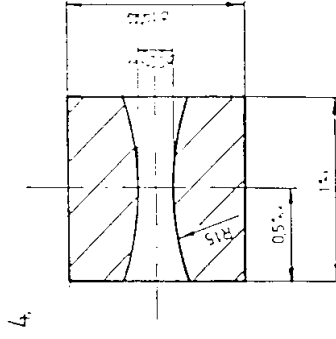
Z.CH. ZWISCHENSTEGE



2.



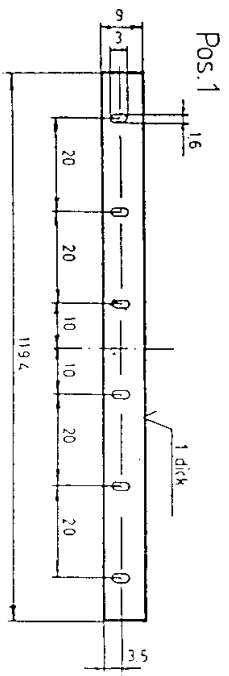
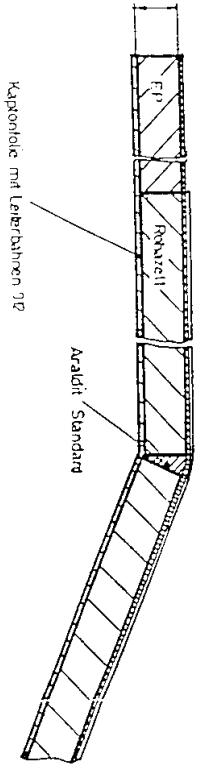
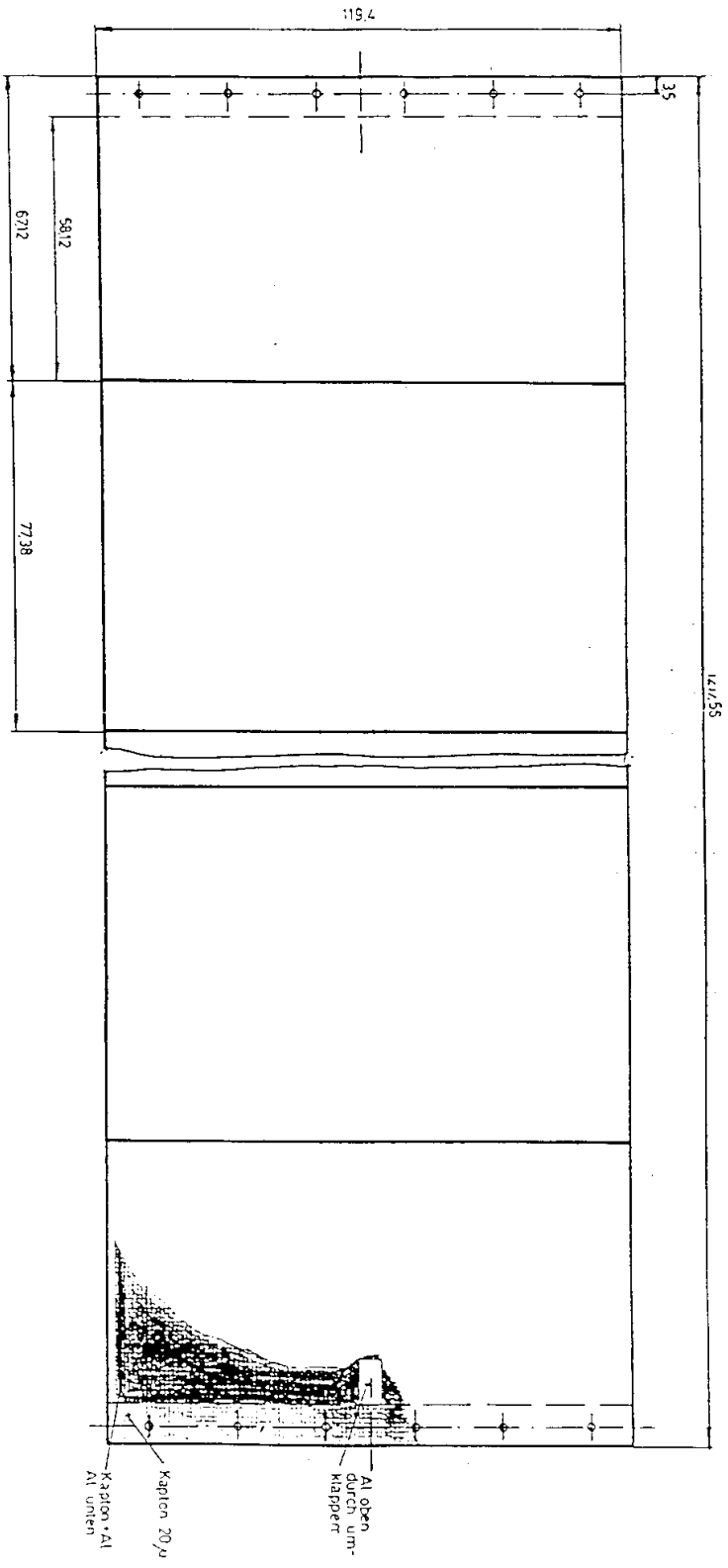
3.



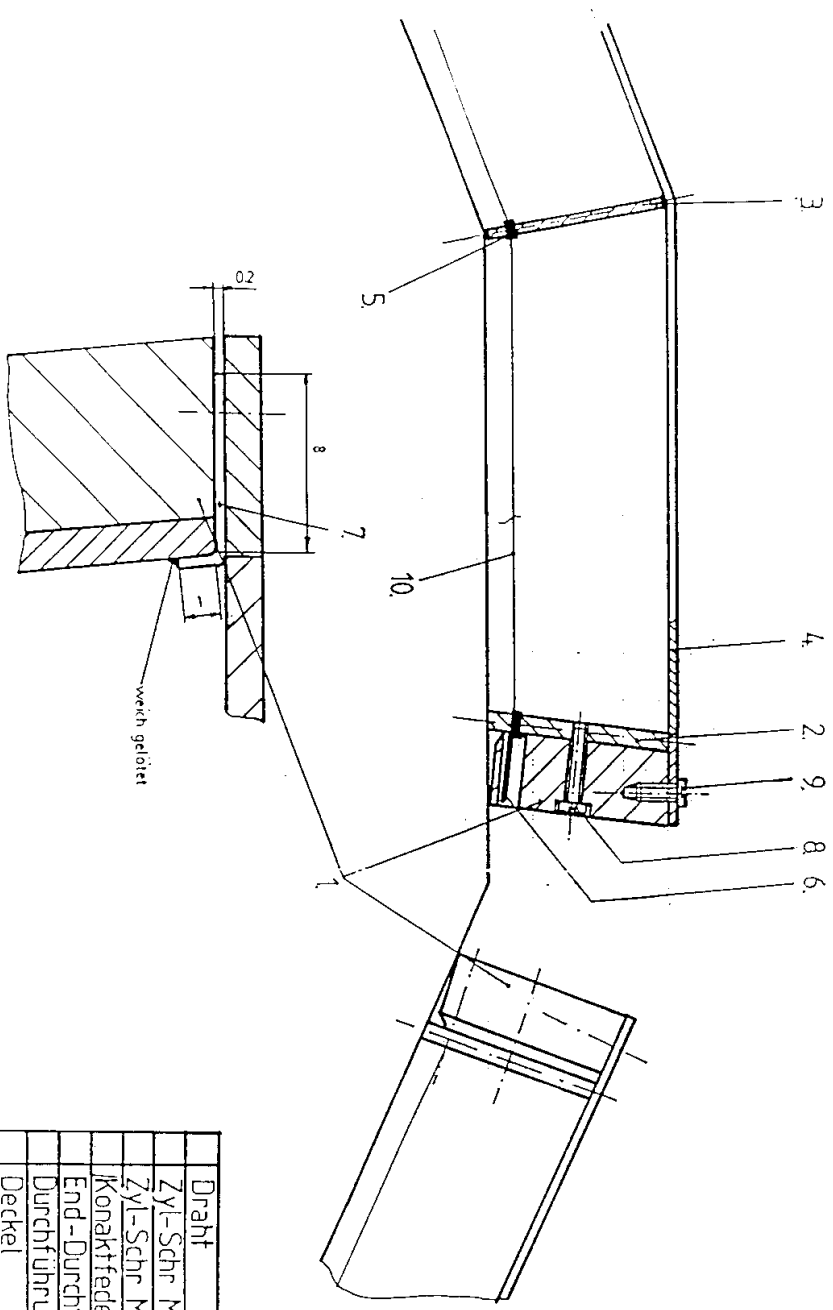
4.

Pot-Draht Durchf.	4
Sig-Draht Durchf.	3
Pot-Draht Enddurchf.	2
Sig-Draht Enddurchf.	1

Z.CH. DURCHFÜHRUNGEN



Deckelende	1
Z. CH DECKEL	



	10
Draht	9
Zyl-Schr M1,6x	8
Zyl-Schr M2x5	7
Kontaktfeder	6
End-Durchführung	5
Durchführung	4
Deckel	3
Zwischensteg	2
Endsteg	1
Endabdeckungen	

Z. CH ENDZELLEN

Chamber Amplifier "H1"

