

BAU UND TEST EINER SPIRAL-DRIFT-KAMMER

Experimentelle Diplomarbeit von

Wolfgang Schnitt

II. Institut für Experimentalphysik

Universität Hamburg

Hamburg, Mai 1986

INHALTSVERZEICHNIS

<u>1</u>	<u>EINLEITUNG</u>	1
<u>2</u>	<u>FUNKTIONSWEISE EINER DRIFTKAMMER</u>	2
2.1	Ort-Driftzeit-Beziehung	2
2.2	Gasverstärkung	3
2.3	Driftgeschwindigkeit	4
<u>3</u>	<u>DIE IDEE DER SPIRAL-DRIFTKAMMER</u>	6
3.1	Die konventionelle Jet-Kammer	6
3.2	Die Spiral-Driftkammer	7
3.3	Anordnung der Kammerdrähte	8
<u>4</u>	<u>MECHANISCHER AUFBAU DER TEST-KAMMER</u>	10
4.1	Druckbehälter	10
4.2	Kammer-Rahmen	12
4.3	Kammerdrähte	12
4.3.1	Anodendrähte	14
4.3.2	Kathodendrähte	14
4.3.3	Drahtspannung	14
4.4	Drahthalterung	15
4.5	Zuführung der Hochspannung	17
4.5.1	Hauptplatinen	17
4.5.2	Seitenplatinen	17
4.5.3	Halterung der Vorverstärker	18
4.6	Diskussion des mechanischen Aufbaues	18
<u>5</u>	<u>ELEKTRISCHER AUFBAU DER TEST-KAMMER</u>	20
5.1	Spannungsteiler	21
5.1.1	Feldformdraht-Ebenen	21
5.1.2	Abschluß-Ebenen	22
5.1.3	Schaltung der drei Kammer-Segmente	23
5.2	Siebglieder und Vorwiderstände	23
5.3	Vorverstärker	25
5.4	Diskussion des elektrischen Aufbaues	27
<u>6</u>	<u>GAS-VERSORGUNGSSYSTEM</u>	28
<u>7</u>	<u>MAGNET</u>	30

<u>8</u>	<u>PROBLEME BEIM BETRIEB DER TEST-KAMMER</u>	32
8.1	Defekte Spannungsteiler	34
8.1.1	Reinigung der Platinen	34
8.2	Defekte Drahtdurchführungen	35
8.2.1	Reparatur der Drahtdurchführungen	36
8.3	Verunreinigung der Kammer mit Silikon-Öl	38
8.3.1	Auskochen der Kammer in Leicht-Benzin	39
8.4	Hohe Kammerströme	41
<u>9</u>	<u>STUDIEN AN EINER DREI-DRAHT-KAMMER</u>	42
9.1	Wachstum eines Kohlefadens	43
9.2	Zerstörung der Drahtoberfläche	46
9.3	Untersuchung verschiedener Gase	47
9.3.1	Durchbruchfeldstärken	47
9.3.2	Verhalten eines Kohlefadens	48
9.3.3	Oxidation eines Kohlefadens	50
9.3.4	Ionisation in Molekül-Gasen	51
9.3.5	Wirkung von Belägen auf Kammerdrähten	52
<u>10</u>	<u>ANWENDUNG DER STUDIEN AUF DIE TEST-KAMMER</u>	54
<u>11</u>	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	57
	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	59
	<u>DANKSAGUNG</u>	60

1 EINLEITUNG

In der Hochenergie-Physik werden zur Untersuchung elementarer Bausteine der Materie geladene Teilchen beschleunigt und gegenläufig in Speicherringe injiziert. Bei Zusammenstoß dieser Teilchen entstehen bei Schwerpunktsenergien von einigen 10-100 GeV hochenergetische Reaktionsprodukte, die mit Detektoren möglichst über den gesamten Raumwinkel vermessen werden. Im e^+e^- -Speicherring PETRA des Deutschen Elektronen-Synchrotrons DESY in Hamburg werden Elektronen und Positronen beschleunigt und die Reaktionsprodukte untersucht, die bei Schwerpunktsenergien von 46 GeV erzeugt werden. Zum Studium der $e-p$ -Reaktionen wird derzeit in Hamburg der Speicherring HERA mit einem Umfang von 6.4 km gebaut, mit dem Protonen auf 820 GeV und Elektronen auf 30 GeV beschleunigt werden sollen. Die dabei nutzbare Energie zur Teilchenproduktion beträgt 314 GeV und erfordert die Entwicklung von Detektoren, die zur Impulsbestimmung von Sekundärteilchen mit einigen 100 GeV bei Magnetfeldern von über einem Tesla betrieben werden können. Aus diesem Grunde wurde in der JADE-Gruppe des DESY ein neuer Driftkammertyp entworfen, der sich in seiner spiralförmigen Anordnung der Kammerdrähte von der Jet-Driftkammer des JADE-Detektors am PETRA-Speicherring unterscheidet. Das Ziel war dabei, den Einfluß des hohen Magnetfeldes auf die Ortsauflösung möglichst klein zu halten.

Zu Test-Zwecken wurden 3 Kammersegmente einer zylindrischen Driftkammer mit 31 Segmenten gebaut und getestet. Im Rahmen dreier Diplomarbeiten begannen die Arbeiten zur Fertigstellung und Vermessung dieses neuartigen Kammertypes Ende 1984 und erstreckten sich bis Anfang 1986. Mit den Berechnungen des elektrischen Feldes der Test-Kammer und der Datenerfassung wurde H.Kreiser [2] betraut. M.Pfeiffer und mir wurde die Aufgabe der Fertigstellung, Laservermessung und anschließender Datenauswertung übertragen. Während M.Pfeiffer [1] in seiner Diplomarbeit die Laser-Vermessung und deren Ergebnisse diskutiert, wird in der vorliegenden Arbeit ausführlich der Aufbau der Test-Kammer beschrieben und auf die daraus resultierenden Schwierigkeiten bei der Fertigstellung und beim Betrieb eingegangen.

2. FUNKTIONSWEISE EINER DRIFTKAMMER

Um die Idee verständlich zu machen, die zum Bau einer spiralförmigen Kammerstruktur führte, werden im Folgenden kurz die Aufgaben und Merkmale einer Driftkammer, insbesondere einer Jet-Driftkammer, beschrieben.

2.1 Ort-Driftzeit-Beziehung

Durchquert ein energiereiches geladenes Teilchen ein Gasvolumen, so führt dessen elektromagnetische Wechselwirkung mit den Gasatomen und -molekülen zur Ionisation entlang seiner Flugbahn. Erzeugt man in diesem Volumen ein elektrisches Feld zwischen zwei Elektroden, kommt es zur Ladungstrennung und die Elektronen und Ionen driften entlang der Feldlinien zur Anode bzw. zur Kathode (Abb.1). Die Driftgeschwindigkeit der Ladungsträger ist dabei abhängig von ihrer Beweglichkeit im Gas, der Stärke des elektrischen Feldes und speziellen Gaseigenschaften. Wegen der kleinen Masse der Elektronen ist ihre Beweglichkeit 100 bis 1000 mal größer als die der Ionen, die sich langsam zur Kathode bewegen und dort rekombinieren. Werden wie in Abb.1 als Anoden dünne Drähte verwendet, so lassen sich die dorthin driftenden Elektronen in Drahtnähe durch hohe elektrische Feldstärken auf der Drahtoberfläche vervielfachen (Gasverstärkung, siehe 2.2) und können als Strompuls gemessen werden.

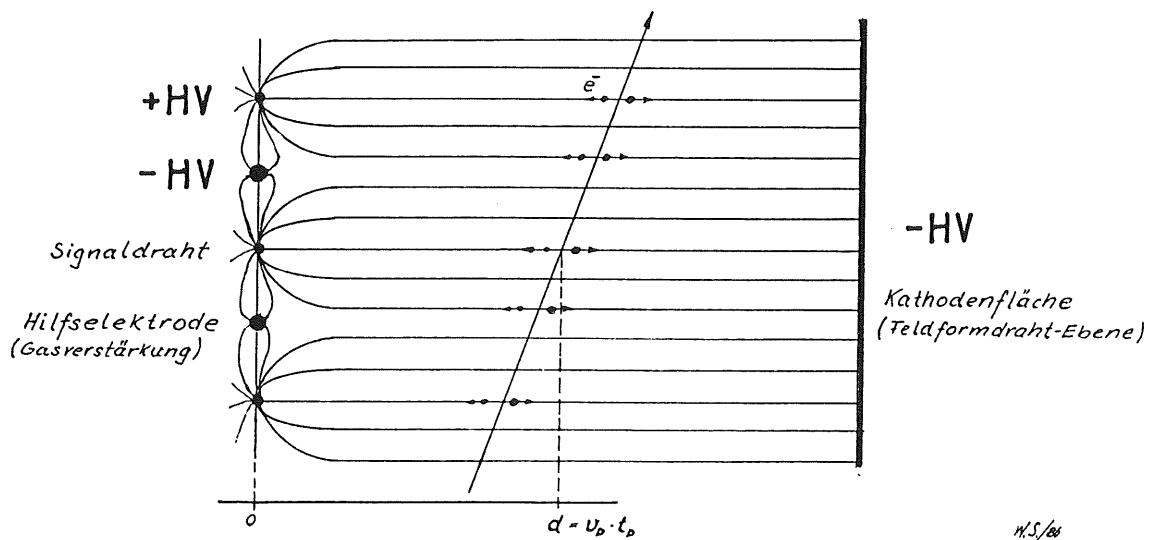


Abb.1: Feldlinienverlauf in einer Driftkammer

Die Zeit, die seit dem Teilchendurchgang bis zum Nachweis des Pulses auf dem Draht verstreicht, ist die Driftzeit t_D . Bei konstanter Driftgeschwindigkeit v_D , was ein ideales homogenes elektrisches Feld voraussetzt, wird die Ort-Driftzeit-Beziehung linear und der Abstand d der Primärionisation von der Anode kann wie in Abb.1 bestimmt werden. Werden mehrere Anodendrähte hintereinander angeordnet, wie es in Abb.1 dargestellt ist, kann die Teilchenspur zweidimensional rekonstruiert werden.

Verwendet man als Anoden Widerstandsdrähte, so teilt sich die auf den Drähten auftreffende Ladungsmenge, die sich zu beiden Drahtenden hin verteilt, dem Widerstandsverhältnis entsprechend auf (charge division). Wertet man die Amplitudenverhältnisse zusätzlich zu den gemessenen Driftzeiten aus, so ist die Kenntnis über die Lage der Teilchenspur um die dritte Dimension erweitert.

2.2 Gasverstärkung

Minimal ionisierende Teilchen, die durch eine Argon-gefüllte Kammer fliegen, erzeugen pro Zentimeter Wegstrecke etwa 30 Primärelektronen mit einer mittleren Energie von 80 eV. Da das Ionisationspotential von Argon 15.7 eV beträgt, kann ein Primärelektron in weiteren Sekundärionisationen noch 4 bis 5 Elektronen erzeugen. Es entstehen somit pro Zentimeter etwa 150 Ionenpaare (Cluster) entlang des Weges.

Da diese kleinen Ladungsmengen an der Anode schwer zu messen sind, werden sie im Gas vervielfacht. Man benutzt dazu Anodendrähte mit einem Durchmesser von 20 bis 30 μm . In der Nähe der Anoden werden radialsymmetrische elektrische Felder erzeugt, die bei einer Potentialdifferenz von 1 kV zwischen Gasverstärkungs- und Signaldraht auf einige 100 kV/cm auf der Anodenoberfläche ansteigen. Erreichen die Elektronen den Bereich dieser hohen Feldstärken im Abstand einiger Drahtradien um den Anodendraht, so können sie auf der mittleren freien Weglänge zwischen zwei Stößen soviel kinetische Energie gewinnen, daß sie in inelastischen Stößen weitere Ionenpaare erzeugen. Dieser Vorgang

pflanzt sich lawinenartig fort (Gasverstärkung), bis die so vervielfachte Ladungsmenge den Anodendraht erreicht hat. Diese Ladungsvervielfachung läßt sich mit der Potentialdifferenz zwischen Signaldraht und den Hilfselektroden in Abb.1 einstellen und beträgt zwischen 10^4 und 10^7 in Abhängigkeit von der verwendeten Gasmischung (siehe 9.3.4).

2.3 Driftgeschwindigkeit

Befinden sich Elektronen in einem Gasvolumen unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes, so werden sie zwischen zwei Stößen mit Gasatomen in Richtung der elektrischen Feldlinien gleichmäßig beschleunigt. Infolge der fortgesetzten Zusammenstöße mit den Argonatomen wird die beschleunigte Bewegung dauernd unterbrochen und es stellt sich eine mittlere Geschwindigkeit, die Driftgeschwindigkeit, in Feldrichtung ein. Die Beweglichkeit der Elektronen im Gas ist dabei umgekehrt proportional zur Teilchendichte der Argonatomme, da die Wege zwischen zwei Stößen mit zunehmender Anzahl von Argonatommen pro Volumen abnehmen. Da der Gasdruck nach $p \cdot V = N \cdot R \cdot T$ proportional zur Teilchendichte ist, wird die Driftgeschwindigkeit gegen E/p wie in der Abbildung 2 aufgetragen. Der Zusammenhang zwischen Driftgeschwindigkeit und E/p wird durch die starke Variation des Wirkungsquerschnittes für Elektronen mit ihrer kinetischen Energie in Argon (Ramsauer Effekt) und dem Beitrag der inelastischen Stöße mit dem mehratomigen Methan zu Molekülschwingungen erklärt [6].

Wird eine Driftkammer im abgeschlossenen Volumen betrieben, so bleibt die Teilchendichte konstant und die Driftgeschwindigkeit hängt nur noch von der elektrischen Feldstärke ab. Der Einfluß der Temperatur unter Normalbedingungen ist vernachlässigbar, da die Argonatomme sich gegenüber den bewegten Elektronen fast in Ruhe befinden. Bei einer typischen Driftgeschwindigkeit von 5 cm/ μ s ist die thermische Geschwindigkeit der Argonatomme um den Faktor 100 kleiner. Gegenüber einer Gas-durchflossenen Driftkammer kann daher eine aufwendige Gasdichtekontrolle und Temperaturüberwachung während des Betriebes entfallen, da die

Teilchendichte in einem abgeschlossenen Volumen konstant ist und sich auch mit der Temperatur nicht ändert.

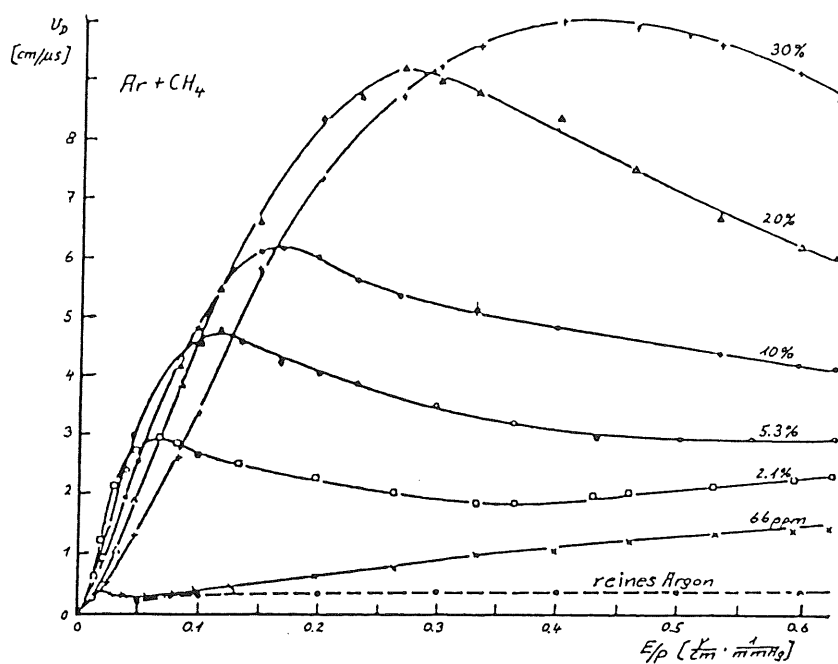


Abb.2: Driftgeschwindigkeit von Elektronen in Argon-Methan [6]

Für den Betrieb einer Driftkammer wird auf der Kurve in Abbildung 2 ein Punkt hinter dem Maximum der Driftgeschwindigkeit als Arbeitspunkt gewählt. Es können so aus Bereichen kleinerer Driftfelder innerhalb der Drifträume entstandene Ladungen schneller abgeführt werden, die sonst dort zurückbleiben würden. Da die Driftgeschwindigkeit bei konstantem Gasdruck im Arbeitspunkt unabhängig von der elektrischen Feldstärke ist, kann die Driftgeschwindigkeit über den größten Teil des Driftraumes außerhalb des Einflußbereiches dünner Drähte konstant gehalten werden, um die Ort-Driftzeit-Beziehung linear zu halten. Liegt der Arbeitspunkt vor dem Maximum der Driftgeschwindigkeitskurve in der Abb.2 auf dem steil ansteigenden Zweig, so macht sich jede Änderung des elektrischen Feldes in der Driftgeschwindigkeit bemerkbar. Die auseinanderdriftenden Ladungsträger, die bei der Ionisation entstehen, erniedrigen das Driftfeld lokal und können zu einer kleineren Driftgeschwindigkeit führen. Besonders stark machen sich geometrieabhängige Feldinhomogenitäten, wie sie bei der spiralförmigen

Anordnung der Kammerdrähte nicht zu vermeiden sind, bemerkbar in der Änderung der Driftgeschwindigkeit.

3. DIE IDEE DER SPIRAL-DRIFTKAMMER

Im Folgenden wird die konventionelle Jet-Driftkammer beschrieben, wie sie im JADE-Detektor verwirklicht wurde, um den Unterschied zur Spiral-Driftkammer zu verdeutlichen.

3.1 Die konventionelle Jet-Kammer

Zur Vermessung geladener Teilchen werden Driftkammern mit Zylindersymmetrie entwickelt, durch deren Rotationsachse das Strahlrohr des Speicherringes verläuft. In Achsrichtung, der z-Achse, wird ein solenoidales Magnetfeld erzeugt, um die Spuren der aus dem Wechselwirkungspunkt (Vertex) kommenden Teilchen zu krümmen. Der Krümmungsradius in der r-p-Ebene ist dem Teilchenimpuls proportional und die Richtung der Krümmung läßt auf das Vorzeichen der Ladung des Teilchens schließen. Zur weiteren Identifikation dient die Messung des Energieverlustes, den die Teilchen auf dem Weg durch das Kammergas durch die Ionisation erfahren haben. Die Signaldrähte und Feldformstreifen o.-Drähte (Anoden, Kathoden) sind zu diesem Zweck parallel zum Magnetfeld gespannt, um die Spuren der aus dem Vertex kommenden Teilchen rekonstruieren zu können.

Die Abbildung 3 zeigt auf der linken Seite den bisher verwendeten Jet-Driftkammer-Typ. Hier liegen die Signal- und Feldformdrähte auf Ebenen, die der Radius und die Rotationsachse des Detektors aufspannen. Die elektrischen Feldlinien stehen senkrecht auf den Ebenen, in denen die Signaldrähte gespannt sind. Infolgedessen driften die Elektronen, die während der Ionisation entstanden sind, rechtwinklig zum Magnetfeld und erfahren die Lorentzkraft $e\vec{v} \times \vec{B}$. Deren Driftrichtung weicht daher von der Richtung des elektrischen Feldes um den Lorentzwinkel α ab, wie er in der Abb.3 eingezeichnet ist. Es entstehen am inneren und äußeren Radius der Driftkammer tote Räume, aus denen Elektronen keinen Signaldraht mehr erreichen können.

Diese Räume gehen dem sensitiven Volumen des Detektors verloren und nehmen bei stärker werdendem Magnetfeld zu.

3.2 Die Spiral-Driftkammer

Die Impulsauflösung einer Driftkammer ist umgekehrt proportional zum Magnetfeld und zum Quadrat der vermessenen Teilchenspurlänge im Magnetfeld ($\sigma_p \sim 1/B \sim 1/L^2$). Um den Kammerdurchmesser nicht größer als zwei Meter werden zu lassen, wird zur Verbesserung der Auflösung die Flußdichte des Magnetfeldes vergrößert. Die spiralförmige Anordnung der Kammerdrähte, wie es die rechte Hälfte der Abb.3 zeigt, soll die toten Räume einer Jet-Kammer unter dem Einfluß eines starken Magnetfeldes (>1 Tesla) vermeiden und die Ortsauflösung verbessern. Bei der Test-Spiralkammer liegen die Positionen der Signal- und Feldformdrähte auf logarithmischen Spiralen, deren Ursprung auf der z-Achse liegt. Alle geraden Spuren, deren Ursprung der Wechselwirkungspunkt ist, schneiden diese Spiralen in der r- φ -Ebene immer unter dem gleichen Winkel. Wird dieser Schnittwinkel dem Lorentzwinkel gleichgesetzt, so driften die Ladungsträger senkrecht zu den Teilchenspuren und die toten Räume an den Driftkammer-Enden werden sehr klein.

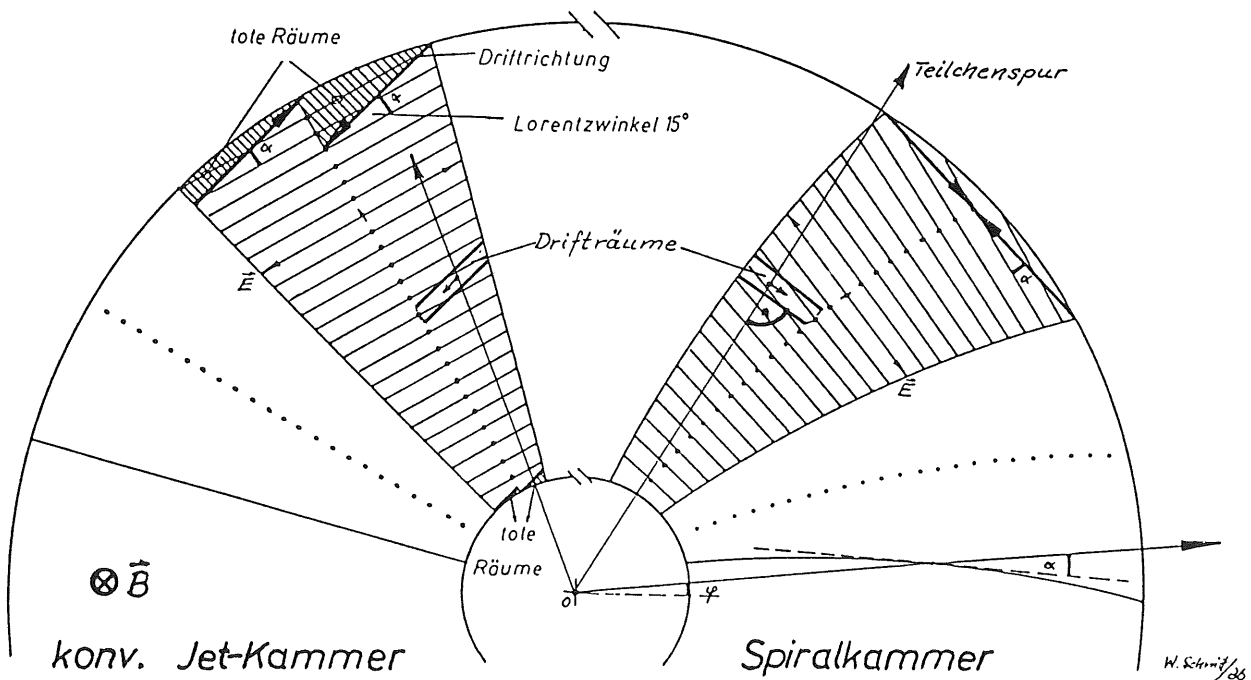


Abb.3: Unterschied zwischen konventioneller und lorentzwinkel-kompensierender Bauform einer Jet-Driftkammer

Da der Driftweg eines Clusters innerhalb eines Driftraumes, wie er in der Abb.4 gezeigt wird, nicht bekannt ist, wird die Ungenauigkeit Δt der Driftzeit für die Teilchenspur ① am kleinsten. Man kann daher mit einer Verbesserung der Ortsauflösung rechnen, wenn die Teilchenspuren die Drifträume unter einem Winkel von 90 Grad in der r- ϕ -Ebene schneiden.

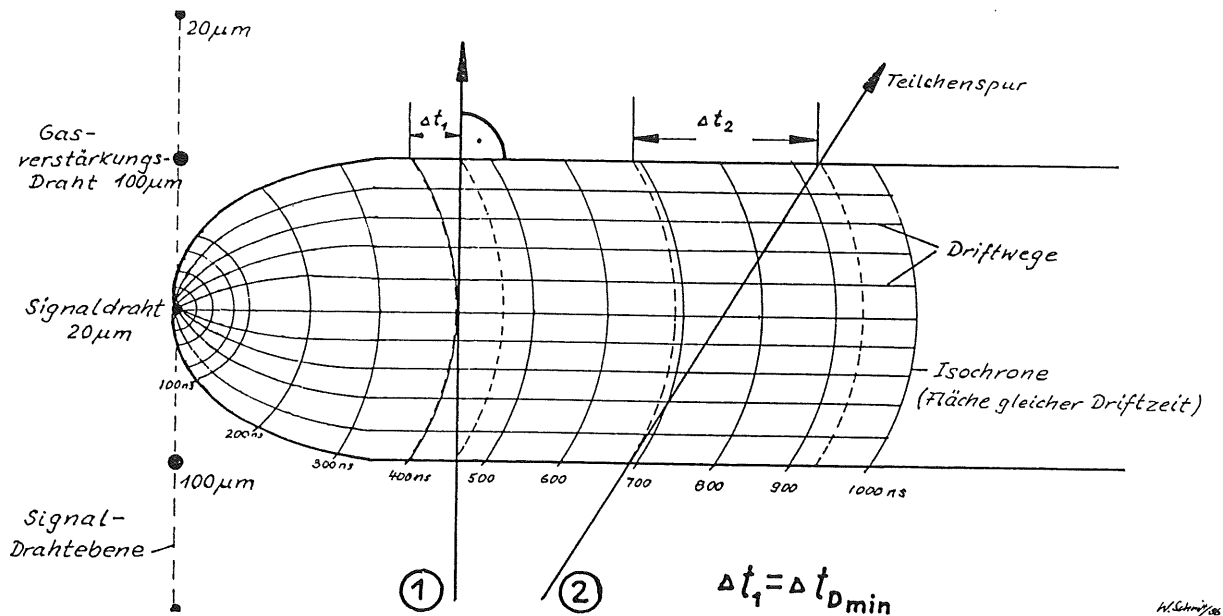


Abb.4: Minimalisierung der durchlaufenen Flächen gleicher Driftzeit beim Durchqueren eines Driftraumes

3.3 Anordnung der Kammerdrähte

Um entscheiden zu können, auf welcher Seite einer Signaldrahtebene sich die Teilchenspur befindet, werden in der konventionellen Jet-Kammer die Signaldrähte abwechselnd über und unter einer Ebene positioniert. An Hand der Driftzeiten ist dann eine eindeutige Unterscheidung zwischen Spur und Spiegelspur möglich. Dieses "staggering" ist bei der spiralförmigen Anordnung der Signaldrähte nicht nötig, da die Spiegelspuren zu Spiralen abgebildet werden. Die Drahtpositionen der Test-Kammer liegen daher ohne Versetzungen direkt auf den Spiralen. In der Abb.5 ist zur Demonstration der spiralförmigen Drahtanordnung ein Segment dargestellt. Es wird von dem Innenradius $r_i = 250$ mm und dem Außenradius $r_a = 670$ mm an den Enden begrenzt. Die Driftweg-

längen sind somit wegen der Zweiteilung eines Segmentes durch die Signaldrahtebene auf 25.3 mm auf dem inneren und 67.9 mm auf dem äußeren Radius festgelegt, wie es Abb.5 zeigt.

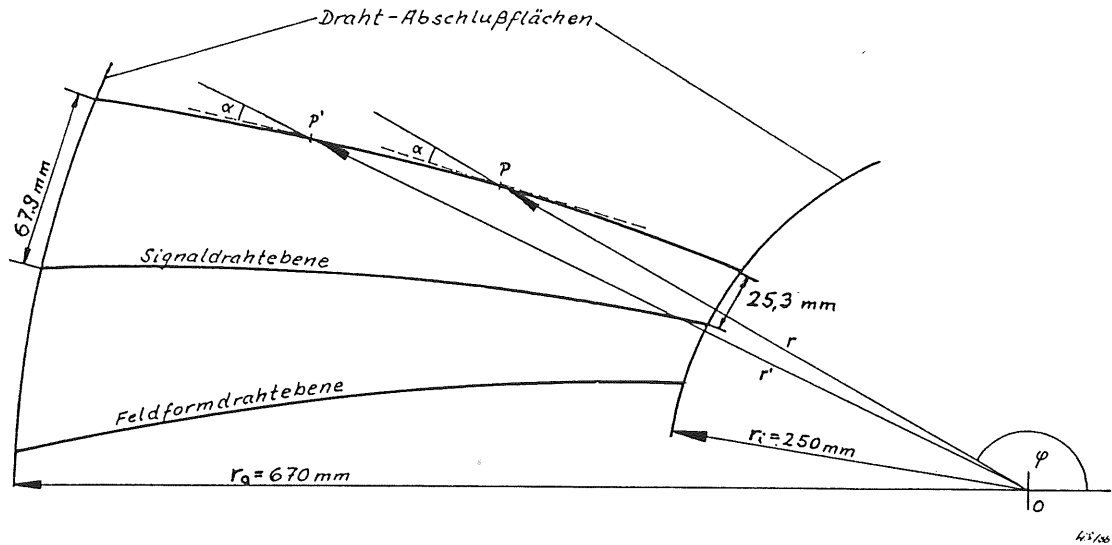


Abb.5: Drahtpositionen eines Kammersegmentes

Die Funktion der logarithmischen Spirale in Polarkoordinaten ist gegeben durch:

$$r = A \cdot e^{k \cdot \varphi}$$

Dabei ist $k = \cot \alpha$ und α der Schnittwinkel der aus dem Ursprung kommenden Geraden mit der Spirale. Für den Schnittwinkel sind bei der Konzeption der Kammer 15 Grad festgelegt worden. Der Koeffizient A bestimmt die Lage der Spirale. Sind P und P' zwei Punkte auf der Spirale (siehe Abb.5), so ist deren Abstand:

$$PP' = (r - r') \sqrt{1 + k^2} / k$$

Die Differenzen der Radien ($r - r'$) zweier benachbarter Drähte betragen 5 mm. Daraus ergibt sich der Drahtabstand von 5.17 mm. Eine Drahtebene besteht aus 84 Drähten, wobei sich in den Signaldrahtebenen ein Signaldraht mit einem Feldformdraht abwechselt, der als Hilfs-Elektrode zur Einstellung der Gasverstärkung auf negativem Potential liegt. Auf den Segment-Enden sind Feldformdrähte im Abstand von 2.5 mm gespannt.

4 MECHANISCHER AUFBAU DER TEST-KAMMER

Der mechanische Aufbau der Test-Kammer ist in der Abb.6 maßstabsgetreu wiedergegeben. In einem Druckbehälter befindet sich der Kammer-Rahmen, der alle weiteren Teile wie Drahthalterungen, Leiterplatten zur Hochspannungsversorgung und die Platinen mit den Vorverstärkern trägt. Alle verwendeten Metallteile sind nicht magnetisierbar, um Flußänderungen des Magnetfeldes zu vermeiden.

4.1 Druckbehälter

Die Wandung des Behälters ist aus 5 mm Edelstahlblech gewalzt. An beiden Enden befinden sich Verstärkungsringe zur Aufnahme von Flanschverschraubungen und einer O-Ringdichtungsnut. Im Tankmantel sind auf halber Länge Fassungen eingesetzt, in denen insgesamt vier Quarzglas-Fenster mit einer lichten Weite von 50 mm sitzen. Sie werden ebenfalls mit O-Ringen abgedichtet. Der Behälter hat ein Fassungsvermögen von 800 Liter.

Verschlossen wird der Drucktank auf jeder Seite mit Edelstahlscheiben, auf denen je ein weiterer kleiner Flansch sitzt, der in der Abb.6a gezeigt wird. Die großen Flansche erlauben das Herausziehen des Kammer-Rahmens auf Gleitschienen aus dem Druckbehälter. In diesem Flansch befinden sich Gewindelöcher zur Montage von Ventilen für die Gasversorgung. Die im Durchmesser kleineren tragen die druckfesten Kabeldurchführungen für die Hochspannungsversorgung und die Vorverstärker. Zu diesem Zweck wurden in die kleinen Flansche je vier Langlöcher (Abb.6a) gefräst, in denen Leiterplatten mit Epoxidharz verklebt sind. Auf jeder Leiterplatte sind Buchsen für vier 40-adrige Flachbandkabel angelötet. Die Hochspannung gelangt durch separate Bohrungen mit gasdichten SHV-Buchsen in das Tankinnere.

Der Tank, ursprünglich für einen Betriebsdruck von 4 bar ausgelegt, ist wegen der möglicherweise verminderten Druckfestigkeit der kleinen Flansche nur bei Normaldruck betrieben worden, um eine erneute TÜV-Abnahme zu vermeiden.

Abb. 6: Längsschnitt durch die Test-Spiralkammer

Maße in mm

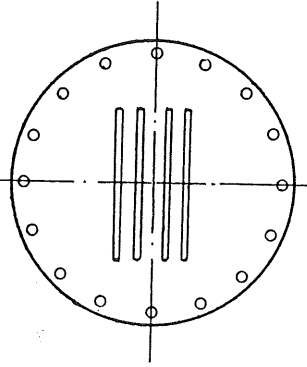
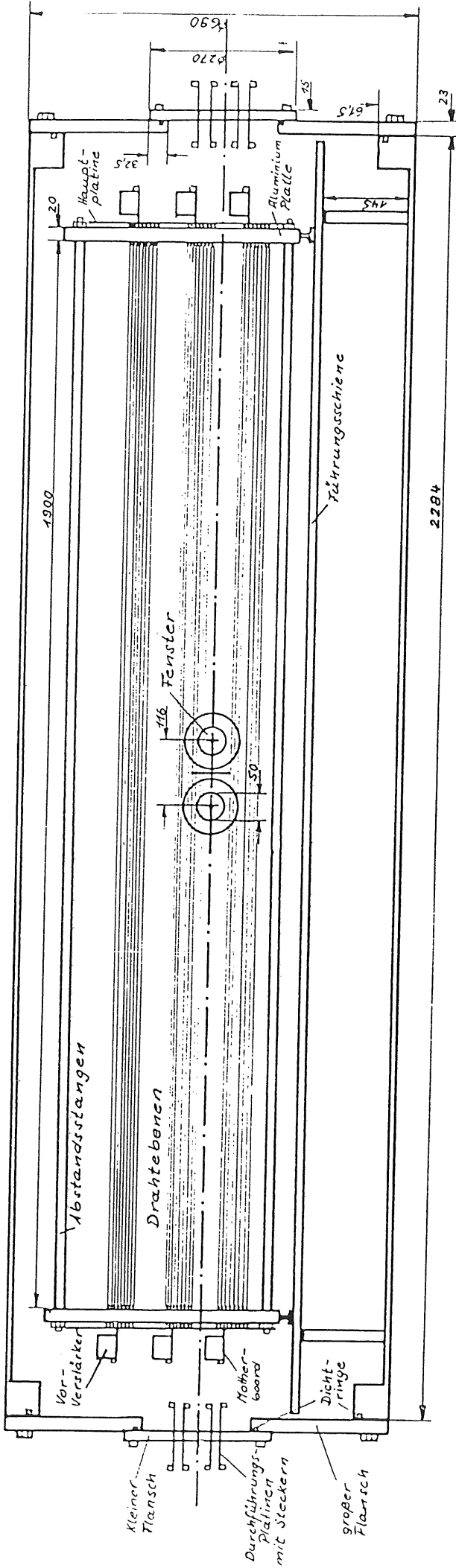


Abb. 6a: kl. Flansch

W. Sehnitz '85

- Betriebsdruck : 1 bar max.
- Tankvolumen : 800 l
- Kammersegmente : 3 von 31
- Drahtlänge : 1900 mm
- Signaldrähte : 123, $\varnothing 20 \mu\text{m}$, 50g Drahtsp.
- Potentialdrähte : 693, $\varnothing 100 \mu\text{m}$, 500g Drahtsp.
- Spiralwinkel : 15 Grad

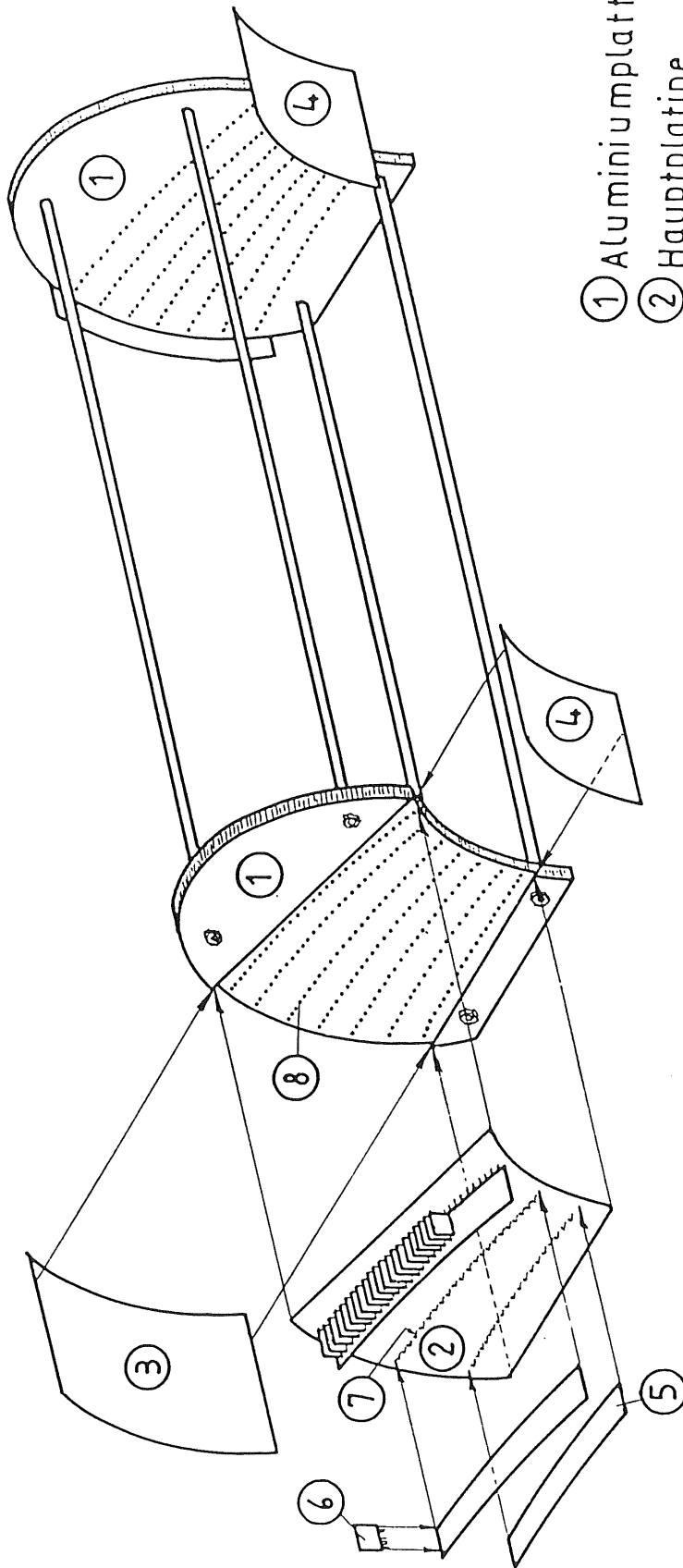
4.2 Kammer-Rahmen

Der Rahmen der Kammer in Abb.7 besteht aus zwei 20 mm dicken Aluminiumplatten mit einem max.Durchmesser von 628 mm. Es wurde hierfür eine Sonder-Legierung (Al Mg 4.5 Mn F30) ausgesucht, deren feinkristalline Struktur besonders genaues Bohren zuläßt. Die Scheiben haben entlang der Spiralkurven je 588 Präzisionsbohrungen von 3 mm Durchmesser, die von einer numerisch gesteuerten Bohrmaschine nach einem Bohrplan mit einer relativen Genauigkeit von 1/100 mm ausgeführt wurden. Der paßgenaue Sitz der Drahtdurchführungen, die in diesen Bohrungen stecken, ist für die Drahtpositionierung besonders wichtig. Damit die Isolatoren auf beiden Seiten der Aluminiumplatte 3 mm überstehen, wurde das Aluminium im Bereich der Halterungen auf 17 mm abgetragen. Die Aluminiumscheiben sind auf zwei Seiten an die Kontur der Kammergeometrie angepaßt. Auf deren Kanten sind flexible Leiterplatten geklebt, um die Drähte der Endflächen der Kammersegmente befestigen zu können (siehe Abb.7, Pkte. 3 u.4).

Vier Edelstahlstangen mit 20 mm Durchmesser halten die Aluminiumplatten gegen die Zugspannung der Drähte von ca. 350 kp auf einen Abstand von 1900 mm. Um den Kammer-Rahmen aus dem Drucktank herausziehen zu können, läuft der Rahmen mit vier Gleitfüßen auf zwei im Tank verspannten Führungs-Schienen (Abb.6).

4.3 Kammerdrähte

Zur Feldformung der Spiral-Kammer wurden 100 µm dicke Kupfer-Beryllium-Drähte und als Signaldrähte 20 µm dicke goldplattierte Wolfram-Drähte verwendet. Da der Draht eingeölt ist, wenn er vom Hersteller kommt, muß er vor dem Einziehen in die Durchführungen mit einem organischen Lösungsmittel gereinigt werden. Sinnvoll ist auch eine optische Kontrolle der Oberfläche, um ein Abschuppen der Oberflächenbeschichtung rechtzeitig zu bemerken. Die Erfahrung im Umgang mit der Kammer hat gezeigt, daß sich jede Art der Oberflächenveränderung negativ auf die Hochspannungfestigkeit niederschlägt. Der Aufbau einer Driftkammer wird unter staubfreien Bedingungen durchgeführt,



- ① Aluminiumplatte
- ② Hauptplatte
- ③ Gr.Seitenplatte
- ④ Kl.Seitenplatte
- ⑤ Vorverstärkerbord
- ⑥ Vorverstärker VV 36
- ⑦ Haken
- ⑧ Drahtdurchführung

H. Schmidt / 1980

Abb.7: Übersicht zum mechanischen Aufbau der Test-Kammer

um durch Staub verursachte Entladungen zwischen den Drähten zu vermeiden. Wird an der Kammer für längere Zeit nicht gebaut, empfiehlt sich eine Lagerung in trockenem Edelgas, um die Oxidation des Drahtmaterials (Abschnitt 8) zu vermeiden.

4.3.1 Anodendrähte

Als Anodendrähte wurden goldplattierte Wolfram-Drähte der Firma LUMA in Schweden mit einem Durchmesser von 20 μm verwendet. Sie haben wegen ihres Wolframkernes eine Zugfestigkeit von 310 kp/mm^2 . Das entspricht einem maximalen Spanngewicht von 100 g. Die Drahtovalität ist $< 5\%$, definiert als $(D-d)/((D+d)/2)*100\%$, wobei D der größte und d der kleinste Durchmesser ist. Im Querschnitt weicht die Oberfläche 0.5 μm vom Kreis ab und gewährleistet, daß die Gasverstärkung an der Drahtoberfläche überall gleich ist. Die Drähte haben einen Widerstand von 154 Ω/m und eine Dichte von 19.2 g/cm^3 .

4.3.2 Kathodendrähte

Die Feldformdrähte bestehen aus einer Kupfer-Beryllium Legierung. Berylliumbronzen zeichnen sich durch eine gute Leitfähigkeit bei gleichzeitig großer Zugfestigkeit von 100 kp/mm^2 aus. Der Durchmesser der Feldformdrähte beträgt 100 μm , die Dichte 9.8 g/cm^3 .

4.3.3 Drahtspannung

Bei langen Drahtkammern, die Spiralkammer hat eine Drahtlänge von 1900 mm, macht sich der Drahtdurchhang bemerkbar. Die Drahtpositionen ändern sich demnach in der $r-\varphi$ -Ebene über die Länge der Drahtkammer. Der Drahtdurchhang ist:

$$h = (\rho \cdot A \cdot L^2) / (8 \cdot M)$$

Dabei ist ρ =Dichte, A =Querschnittsfläche, L =Länge des Drahtes und M =Masse des Spanngewichtes. Die Signaldrähte sind mit einem Gewicht von 50 g, der halben Zugfestigkeit, gespannt.

Es ergibt sich ein Durchhang von ca. 55 μm , der für die Feldformdrähte mit einem Spannungsgewicht von 500 g erreicht wird.

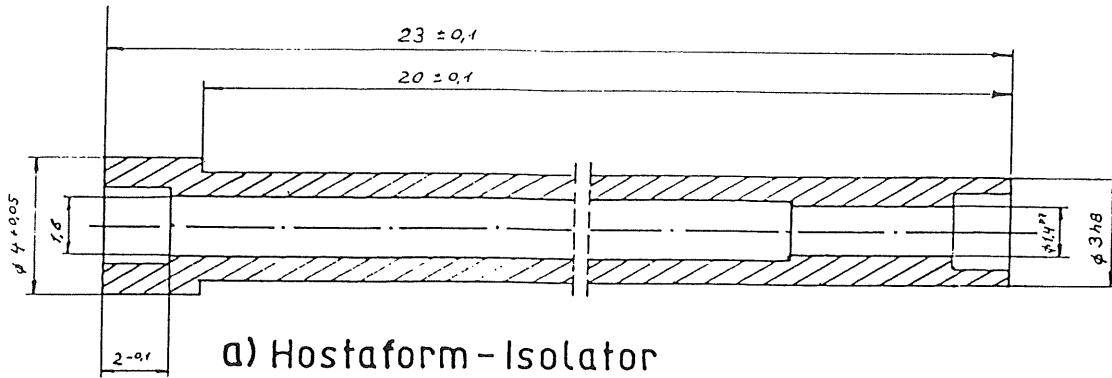
Nach dem Spannen läßt sich die Zugspannung mit der Messung der Resonanzfrequenz schwingender Drähte überprüfen. Dazu wird der zu vermessende Draht an eine Wechselstromquelle variabler Frequenz angeschlossen. Bringt man einen Permanentmagneten in die Nähe dieses Drahtes, so wird auf den stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld eine Kraft ausgeübt, die ihn zur Resonanzschwingung anregt, wenn die richtige Frequenz getroffen wird. Die Spannkraft kann dann mit Hilfe der gemessenen Resonanzfrequenz,

$$f = (1/2L) \cdot \sqrt{F/(A \cdot \rho)}$$

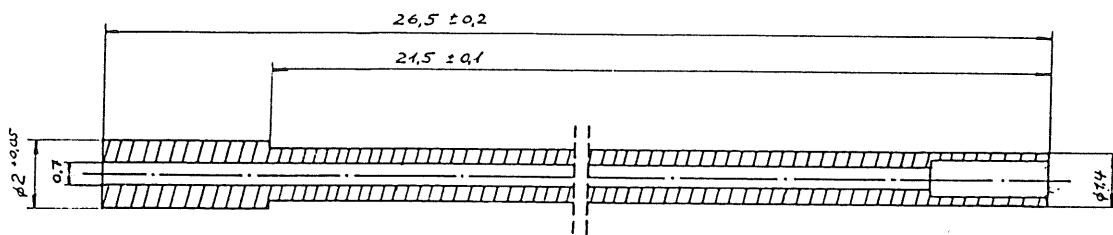
wobei F die Spannkraft ist, errechnet werden. Für die Signaldrähte ergibt sich eine Frequenz von ca. 76 Hz, für die Feldformdrähte ca. 67 Hz.

4.4 Drahtalterung

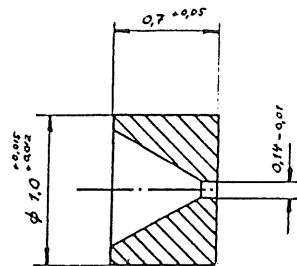
Die Drahtalterung in Abb. 8d ist identisch mit im PLUTO-Detektor und in der JADE-Vertex-Kammer benutzten Drahtdurchführungen. Der Isolator (Abb. 8a) besteht aus dem Thermoplasten Hostaform und ist für 6 kV in Luft ausgelegt. In diesen Isolator ist ein Messingröhrchen (Abb. 8b) eingebettet, das in seinem Inneren die eigentliche Drahtführung (Abb. 8c) enthält. Dieses Drehteil ist 0.7 mm lang und hat einen Durchmesser von 1 mm. Es besitzt in der Längsachse eine Bohrung von 140 μm bzw. 60 μm , je nachdem welche Drahtstärke eingezogen werden soll. Je zwei solcher Einsätze sitzen mit den trichterförmigen Seiten nach außen in den Hülsen, um den Draht einfädeln zu können (Abb. 8d). Nach dem Einziehen der Drähte werden sie an ihren Enden mit konischen Stiften aus Bronze in der Messinghülse verkeilt. Da die Drahtführungsbohrung größer ist als der Durchmesser des Drahtes, ist beim Einziehen darauf geachtet worden, daß die Drähte immer auf der gleichen Seite der Bohrung anliegen. Unter Berücksichtigung aller Fertigungstoleranzen ist die Positionsgenauigkeit der Drähte besser als 100 μm .



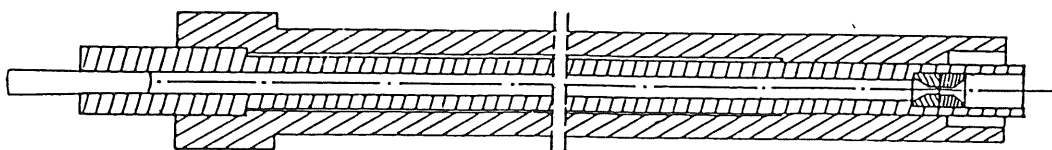
a) Hostaform-Isolator



b) Messing-Hülse (Ms 60)



c) Drahtführungs-Einsatz (Ms 58)



d) Drahtdurchführung komplett

Abb. 8: Einzelteile der Drahtdurchführung

Maße in mm

DESY F22 382 09 50/003
482 09 50/005

4.5 Zuführung der Hochspannung

Um den Bau der Driftkammer zu vereinfachen und alle Hochspannung führenden Leitungen kurz zu halten, sind sämtliche Bauelemente auf Leiterplatten untergebracht. Die Platinen sind beidseitig kupferkaschiert und nach einer im DESY erstellten Vorlage industriell gefertigt worden. Die Lage aller Platinen zeigt Abbildung 7.

4.5.1 Hauptplatinen

Für die Verdrahtung der Anoden- und Kathodendrähte, deren Halterungen in den Aluminiumplatten stecken, bot sich eine glasfaserverstärkte und 2 mm dicke Epoxyd-Platine (Abb.7,Pkt.2) an. Für jedes Ende einer Drahthalterung ist ein durchkontaktiertes Lötauge mit 2.3 mm Durchmesser vorgesehen. Die Bestückungsseite der Platine trägt Widerstände in vier Reihen, welche die Feldformdrähte einer Ebene untereinander verbinden. Unter den Lötäugen, in denen die Halterungen der Signaldrähte verlötet werden, stecken kleine vergoldete Haken (Abb.7,Pkt.7), die zur Befestigung der Vorverstärker-Platinen dienen. Die Drähte zwischen den Signaldrähten (Gasverstärkungsdrähte) sind auf der Unterseite der Leiterplatte miteinander verbunden.

Für die Montage der Platine an den Drahtdurchführungen wurde ein spezielles Weichlot mit 96-98° C Schmelztemperatur aus gesucht, um ein Verformen und Einsinken des Hostaform-Isolators ab 120° C zu vermeiden [4]. Das Weichlot ist unter dem Namen " Rose'sches Metall " (18.7 Sn 50 Bi 25 Pb) bekannt. Da derart spezielle Weichlote keine Flußmittel-Seele besitzen, wurde ein Lötfett benutzt, auf dessen Eigenschaften in Abschnitt 8 näher eingegangen wird.

4.5.2 Seitenplatinen

Auf die Kanten der Aluminiumplatten sind auf dem inneren und äußeren Radius der drei Kammersegmente flexible Platinen aufgeklebt (Abb.7,Pkte.3,4). Sie sind 0.5 mm dick und können ohne

zu zerbrechen gut auf einen Radius von 250 mm, bzw. 670 mm gebogen werden. Auf ihnen sind die Drähte der radialen Abschlußebenen in einem Abstand von 2.5 mm direkt verlötet. Da auf der äußeren Seitenplatine 165 Drähte mit je 500g verspannt wurden, hat die Klebung ein Zuggewicht von 82.5 kg zu halten. Dies entspricht einer Scherkraft von 10 kN pro Quadratmeter. Es wurde daher Araldit als Klebstoff benutzt. Auf diesen Platinen befinden sich die Spannungsteiler der Segment-Enden, deren Funktion in Abschnitt 5.1.2 beschrieben wird.

Im Laufe der Tests der Hochspannungsfestigkeit mußten an verschiedenen Stellen Leiterbahnen stillgelegt werden, da die Abstände untereinander zu klein waren. Da sich die Platinen während des Betriebes der Driftkammer im Zählgas befinden, ist die Durchschlagsfestigkeit des Zählgases maßgebend für die gewählten Leiterbahnabstände. Die Leiterbahnen dürfen bei einer Potentialdifferenz von 2000 V einen Abstand von 3 mm nicht unterschreiten. Gemessene Durchbruchfeldstärken verschiedener Gase finden sich in Abschnitt 9.3.1.

4.5.3 Halterung der Vorverstärker

Wie in Abschnitt 4.5.1 erwähnt, sind auf der Hauptplatine Haken mit Verbindung zu den Signaldrähten angebracht. Auf diesen Haken, die sich wegen der Spiralstruktur der Kammer nicht in einer Flucht befinden (Abb.7,Pkt.5), sind schmale flexible Platinen mit Steckplätzen für 41 Vorverstärker einer Ebene angebracht (Abb.7,Pkt.6). Sind die schmalen Streifen mit den Haken verlötet, werden sie wegen ihrer Krümmung mechanisch stabil. Der Raum zwischen den aufgesteckten Vorverstärkern und den unmittelbar danebenliegenden Widerständen der HV-Versorgung wurde mit Kaptonfolie ausgekleidet, um die Elektronik der Verstärker vor Hochspannungs-Überschlägen zu schützen.

4.6 Diskussion des mechanischen Aufbaues

Ein Problem bei der Gestaltung einer Driftkammer ist die zweckmäßige Anordnung aller Bauelemente auf kleinem Raum, ohne dabei

deren Funktion und Zugänglichkeit einzuschränken. Einerseits sollen die empfindlichen Ladungsverstärker so dicht wie möglich am Ort der Signalentstehung platziert werden, um Störeinflüsse, Übersprechen von einem Datenkabel auf das andere und sonstige Verluste klein zu halten. Andererseits ist es für Testzwecke nicht günstig, die Verstärkerelektronik im Gasraum unterzubringen, da sie während des Betriebes unerreichbar ist. Durch HV-Überschläge fielen 10 % der Vorverstärker aus, wie in Abschnitt 5.3 näher erläutert wird.

Der große Vorteil der Anordnung aller Bauelemente auf einer Platine, die direkt an den Drahtdurchführungen angebracht wird, ist der kurze Weg der noch nicht verstärkten Signale zu den Vorverstärkern. Die Verlotung der Hauptplatine an 588 Punkten hat aber zur Folge, daß eine spätere Demontage nicht mehr möglich ist. Die Platine muß, um gerissene Drähte ersetzen zu können, zerstört werden. Auch aufgetretene Kriechströme an den durch die Platine verdeckten Drahtalterungen waren nicht zu beheben.

Für Testzwecke von Nachteil ist die fehlende Trennung zwischen dem eigentlichen Kammervolumen in dem sich die Drähte befinden und dem Raum, in dem die Hochspannung zugeführt wird. Der gesamte Aufbau liegt unter Betriebsbedingungen im Zählgas unter Verschluss und kann nur durch die vier kleinen Laserfenster im mittleren Bereich eingesehen werden. Fehler, die durch Hochspannungsüberschläge verursacht wurden, konnten nur sehr schwer lokalisiert werden und führten jedesmal zum Ausbau der Kammer aus dem Tank. Bei dieser Kammergröße ist der Ausbau mit vorherigem Abpumpen des Gases, Reparatur und Einbau mit anschließendem Evakuieren und Füllen des 800-l-Behälters eine mehrtägige Prozedur. Dazu kommt die Gefahr der jedesmal neuen Verschmutzung der empfindlichen Drähte durch das Öffnen der Kammer. Nach unseren Erfahrungen ist die Spannungsfestigkeit der Kammer in Luft nicht vergleichbar mit den Verhältnissen in z.B. in Argon/Methan 90/10. Die sich ständig ändernde Luftfeuchtigkeit beeinflusst die Leitfähigkeit hygroskopischer Bauelemente und erlaubt keine vergleichenden Messungen.

5 ELEKTRISCHER AUFBAU

In der Spiralkammer liegen die Signaldrähte auf Erd-Potential, die Gasverstärkungs- und Feldformdrähte auf negativer Hochspannung. Unter diesen Potentialverhältnissen werden Kapazitäten zum Auskoppeln der Signale zwischen Signaldraht und Vorverstärker überflüssig. Bei diesen Verteilungen werden dafür die absoluten Spannungen höher als bei einem Signaldraht, der auf Hochspannung gelegt wird.

Die Spannungsfestigkeit der Spiralkammer läßt als Maximum der Hochspannung -3000 V zu. Die Gasverstärkungsspannung U_6 ist bei dieser Kammer auf -2100 V begrenzt. Mit diesen Werten sind die übrigen Potentialdifferenzen in der Kammer bestimmt. Aus den Berechnungen von H.Kreiser [2] ergeben sich für das in der Abbildung 9 dargestellte elektrische Feld, daß die Eckpunkte eines Segmentes auf -3000V (U_2) am Ort des größten Abstandes zur Signaldrahtebene und auf -1975V (U_1) am Ort des kleinsten Driftweges festgelegt sind. Das mittlere Potential der Signaldrahtebene (U_3) wurde zu -1250V berechnet und führt zu der mittleren Feldstärke von 234 V/cm . Die geometrisch bedingten Feldverzerrungen sind der Diplomarbeit von H.Kreiser [2] zu entnehmen.

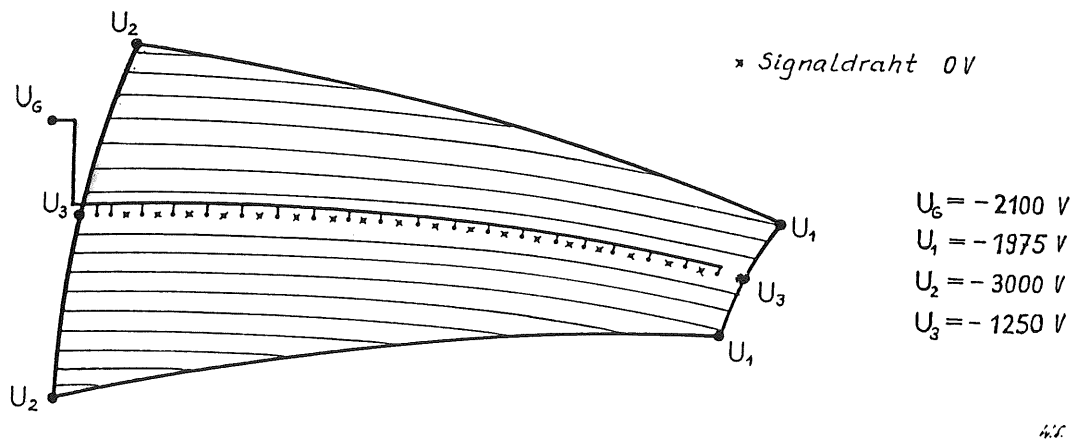


Abb.9: Äquipotential-Linien eines Segmentes (idealisiert).

5.1 Spannungsteiler

Um die elektrische Feldstärke über möglichst große Strecken des Driftweges konstant zu halten, muß die Potentialdifferenz zwischen Signal- und Potentialdrahtfläche mit wachsendem Abstand ansteigen (Abb.9). Zu diesem Zweck werden alle Potentialdrähte über ein Netzwerk von Widerständen, die als Spannungsteiler arbeiten, mit negativer Hochspannung versorgt. Die Widerstände haben $10\text{ M}\Omega$ mit einer Toleranz von 0.1% und sind spannungsfest bis 10KV (Hersteller: CADDOCK, Chicago, USA).

5.1.1 Potentialdraht-Flächen

Die Spannungsteiler der spiralförmigen Potentialdraht-Flächen sind auf der Hauptplatine untergebracht. Um Platz zu gewinnen liegt auf einer Platine jeder zweite Widerstand des Spannungsteilers (Abb.10). Die Drähte verbinden die Widerstände und sind selbst stromdurchflossen. Über den Einzelwiderständen fällt bei einer Spannungsdifferenz zwischen äußerem und innerem Ende des Teilers von 1000V eine Spannung von 12 V ab.

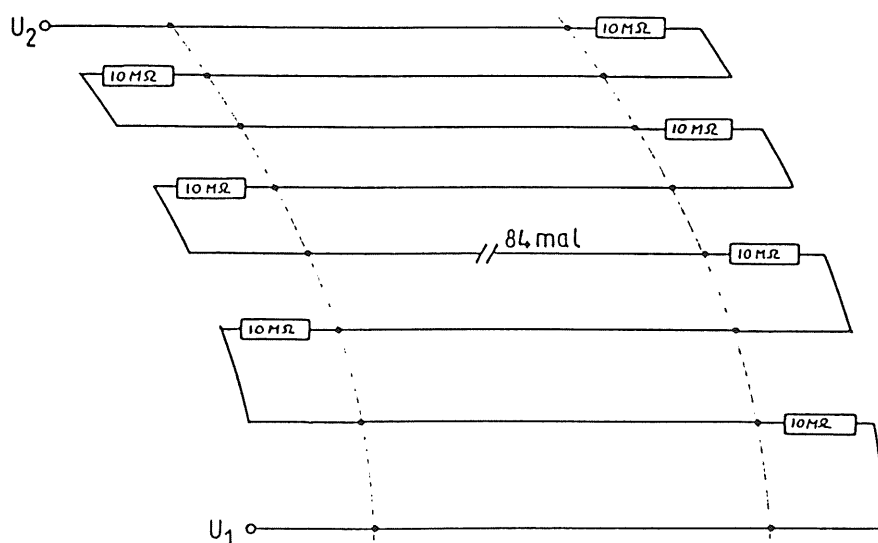


Abb.10: Spannungsteiler einer Feldformdraht-Fläche.

5.1.2 Abschluß-Ebenen

Auf den Seitenplatten in Abb.7, Pkte.3 u.4, befinden sich die Spannungsteiler der Abschluß-Ebenen. Sie versorgen gemäß der Potentialdifferenzen zwischen U_1 und U_3 , bzw. U_2 und U_3 in der Abb.9 die Feldformdrähte der Segment-Enden. Die Spannungsteiler sorgen dafür, daß die Drähte der Abschluß-Ebenen mit größer werdendem Abstand zu der Signaldrahtebene auf höherem Potential liegen, um den Abstand der Äquipotential-Linien an den Segment-Abschlüssen nicht zu ändern. Berechnungen von H.Kreiser [2] zeigen, daß die gekrümmte Kammer-Struktur besonders an den Enden eines Segmentes zu starken Feldverzerrungen führt. Die gekrümmte Form eines Segmentes hat zur Folge, daß die Feldstärken über und unter einer Signaldrahtebene verschieden sind. Die Spannungsteiler der Abschluß-Ebenen sind aber über und unter der Signaldrahtebene identisch, wie es in Abb.11 dargestellt ist.

Abbildung 11 zeigt einen Spannungsteiler der inneren Abschluß-Fläche, dessen Lage aus Abb.5 ersichtlich wird. Auf der Inneren Abschluß-Fläche im Abstand r_i vom Ursprung sind pro Segment 21 Drähte gespannt. Im Abstand r_a vom Ursprung auf der äußeren Abschluß-Fläche begrenzen 55 Drähte das Segment-Ende. Die Drähte haben untereinander 2.5 mm Abstand und sind 100 μm dick.

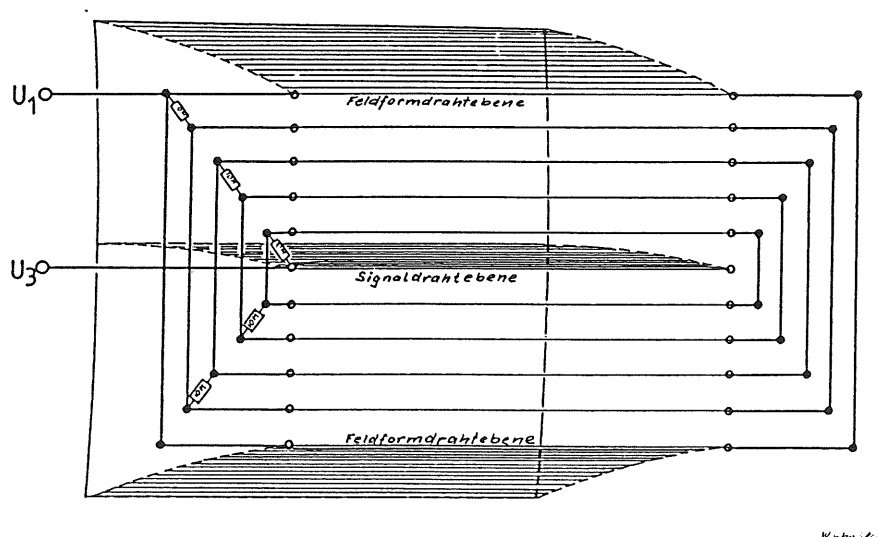


Abb.11: Prinzip der Spannungsteiler einer Abschlußfläche.

5.1.3 Schaltung der drei Kammer-Segmente

Die Abbildung 12 zeigt das Widerstandsnetzwerk der drei Kammer-Segmente. Die negative Hochspannung wird an den drei Punkten U_1 , U_2 und U_3 zugeführt und von je einem Netzteil überwacht. Spannungen und Ströme können begrenzt werden. Die sich ergebenden Ströme im Widerstandsnetzwerk sind aus Abb.13 ersichtlich. Die Spannungsversorgung der Gasverstärkungsdrähte ist nicht gezeigt. Sie wird für jede Ebene getrennt zugeführt, um eine bessere Kontrolle über die auftretenden Ströme zu den Signaldrähten zu haben. Die Gasverstärkungs-Spannung betrug maximal $-2100V$. Bei höheren Werten setzte ein unnormales hoher Stromfluß ein, der auf Gasentladungen zurückzuführen war (siehe Abschnitt 8 u.9).

5.2 Siebglieder und Vorwiderstände

In die Zuleitungen des Widerstandsnetzwerkes sind R-C-Siebglieder eingebaut (Abb.12), um Spannungsschwankungen mit einer Frequenz größer als 50 Hz von der Kammer fern zu halten. Durch die ohmsche Belastung der getakteten Netzteile kann sich deren Taktfrequenz von 22 KHz ohne diese Maßnahme auf die Potentialdrähte übertragen und störend auf die Vorverstärker wirken.

Kapazitäten in den Zuleitungen zu den Gasverstärkungsdrähten wurden vermieden. In Versuchen zeigte sich, daß die gespeicherte Energie in einem Kondensator von nur 10 nF bei 2000 V ausreicht, um die Oberfläche der Signaldrähte bei Hochspannungsüberschlägen zu zerstören (Abschnitt 9.2). In einigen Fällen rissen die Drähte durch die große thermische Belastung am Ort der Funkenbildung.

Um bei Gasentladungen die fließenden Ströme auf maximal $100 \mu A$ zu begrenzen, wurde ein Vorwiderstand von 20 M Ω in jede Zuleitung für die Gasverstärkung geschaltet. Dieser Wert von $100 \mu A$ hat sich in Tests (Abschnitt 8 u. 9) als geeignete obere Grenze ergeben, um eine Funkenbildung beim Einsetzen einer Gasentladung zu vermeiden.

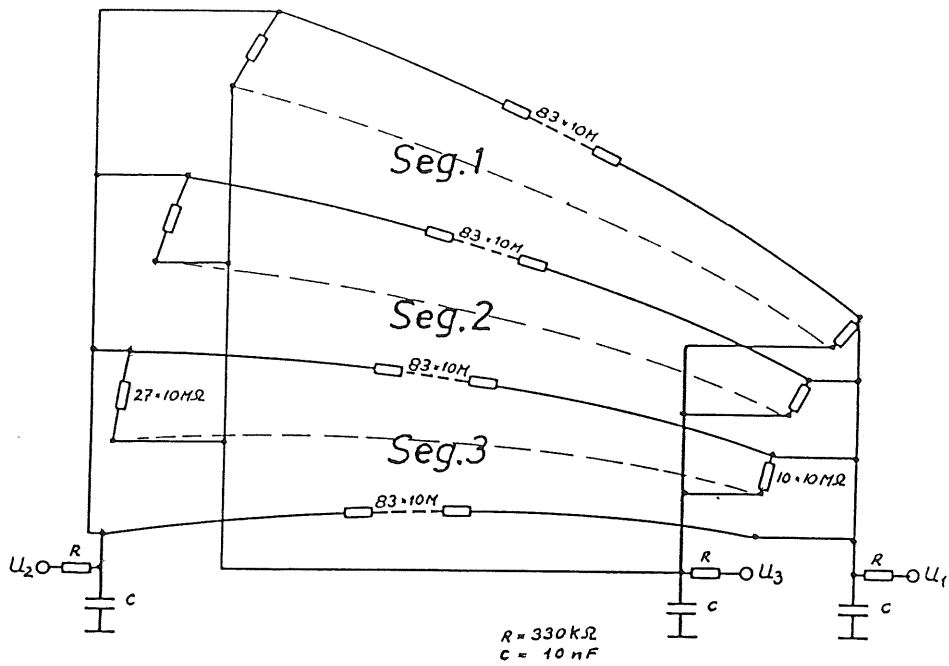
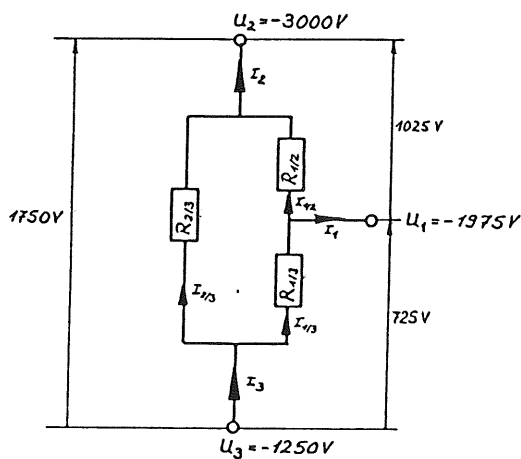


Abb.12: Widerstandsnetzwerk der Feldformdrähte



- $R_{1/2} = 207,5 \text{ MOhm}$
- $R_{1/3} = 33,3 \text{ MOhm}$
- $R_{2/3} = 90,0 \text{ MOhm}$
- $I_{1/2} = 4,96 \text{ }\mu\text{A}$
- $I_{1/3} = 21,77 \text{ }\mu\text{A}$
- $I_{2/3} = 19,44 \text{ }\mu\text{A}$
- $I_1 = 16,83 \text{ }\mu\text{A}$
- $I_2 = 24,38 \text{ }\mu\text{A}$
- $I_3 = 4,21 \text{ }\mu\text{A}$

1) ohne Siebglieder

Abb.13: Ersatzschaltbild und zugehörige Ströme¹⁾

5.3 Vorverstärker

Wie in Abb.8 zu sehen ist, stecken die Ladungsverstärker einer Drahtebene auf zwei schmalen Platinen auf jeder Seite der Kammer. Jede Platine trägt 40 Vorverstärker, die über je einen Anpasswiderstand R_E in Abb.15 mit den Signaldrähten verbunden sind. Abgebildet sind hier nur acht von vierzig Verstärkern auf einer Platine. Die Vorverstärker haben die Bezeichnung VV36 und sind in Heidelberg entwickelt worden. Es handelt sich hier um rauscharme Strom-zu-Spannungsverstärker mit bipolaren Ausgängen. Technische Daten und Schaltplan sind Abb.14 zu entnehmen.

Die Gegeneinanderschaltung zweier Dioden im Eingang des Verstärkers dient als Überspannungsschutz für den Eingangstransistor, da die Dioden bei Erreichen ihrer Durchlaßspannung von 0.7 V leitend werden. Die Eingangsspannung ist so auf ± 0.7 V begrenzt. Während der Versuchszeit fielen trotzdem ca.10 % der Vorverstärker aus, da die Schaltzeit der Dioden nicht kurz genug ist. Überspannungsableiter in Form von schnellen Funkenstrecken bieten einen besseren Schutz, sind aber teurer.

Die Eingangsimpedanz von 17 Ohm muß an den Wellenwiderstand des Signaldrahtes angepaßt werden, um Signalverformungen und Reflexionen an den Drahtenden zu vermeiden. Nimmt man den Wellenwiderstand des Signaldrahtes mit 50 Ohm an, so muß der Draht mit $R_E=33$ Ohm angepaßt werden (Abb.15). Der Eingangswiderstand von 17 Ohm und der 33 Ohm-Widerstand schließen dann den Draht mit 50 Ohm, dem Wellenwiderstand, ab. Der Draht verhält sich nach der Anpassung wie eine Leitung unendlicher Länge und es treten keine Reflexionen mehr auf.

Die bipolare Endstufe ermöglicht das Betreiben zweier verdrehter Leitungen (Twisted Pair Line). Die beiden Leitungen werden mit komplementären Signalen gespeist und mit einem Differenzverstärker weiterverarbeitet. Störende gleichphasige Einkopplungen auf die Datenleitungen bleiben bei der Differenzbildung wirkungslos. Allerdings machen sich geringe Laufzeitunterschiede der komplementären Signale, verursacht durch ver-

schieden lange Kabel, mit verschlechtertem Signal-Rauschabstand bemerkbar [15]. Bei einer Kabellänge von 50 m lag das Signal-Rauschverhältnis bei 10:1. Die Störampplitude betrug 5 mV. Die Laufzeitdifferenzen machen sich mit zunehmender Frequenz der Störquelle immer mehr bemerkbar und erfordern einen erheblichen Aufwand an Abschirm-Maßnahmen, wie es die Entstörung des Laser [1], der zur Vermessung der Kammer benutzt wurde, nötig machte.

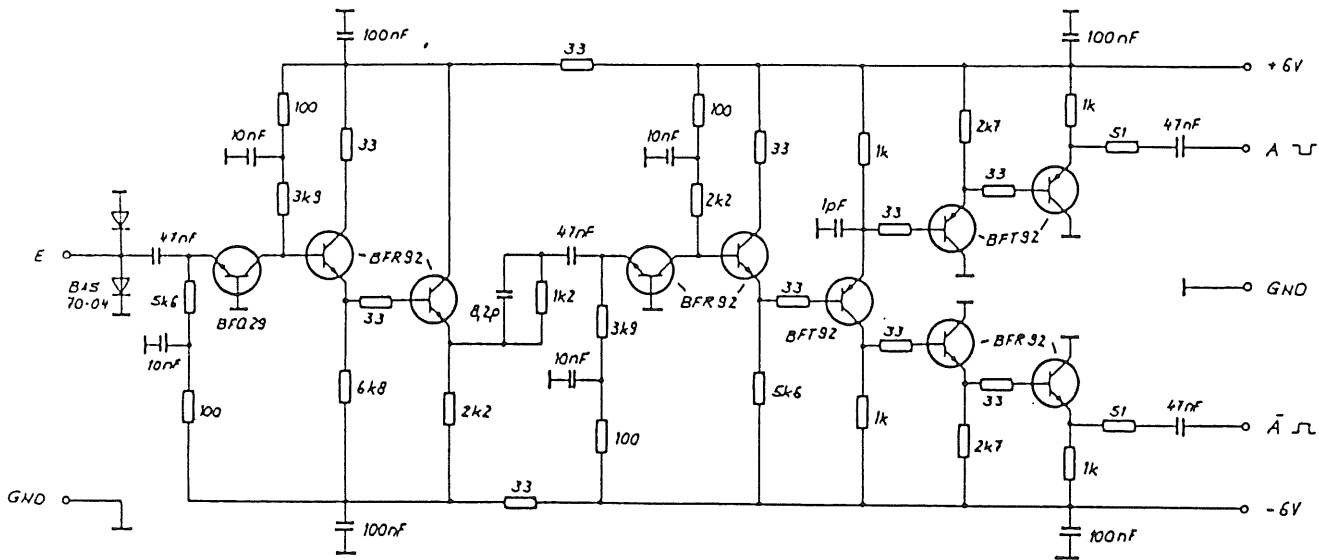


Abb.14: Schaltplan des Strom-zu-Spannungsverstärkers VV 36.

Technische Daten des VV 36:

- Verstärkung : 100-fach (diff.) an 100 Ohm
50-fach je Ausgang an 50 Ohm
- Eingangsimpedanz: 17 Ohm
- Ausgangsimpedanz: 60 Ohm (für Twisted Pair)
- Polarität des Eingangssignal : negativ
- Anstiegszeit : 6.5 ns
- Abfallzeit : 6.5 ns
- Max.lin.Hub : 500 mV je Ausgang
- Rauschen : ca. 2000 El. rms (offener Eingang)
- Betriebsspannung : +6V / -6V
- Betriebsstrom : 2 mal 13mA

Je acht Verstärker sind mit einem 40-poligen Flachkabel verbunden, über das die Signale ab- und die Betriebsspannungen zugeführt werden. Fünf solcher Gruppen sitzen auf einer Platine und können gemeinsam mit einem Testpulser geprüft werden. Der Testpuls wird über ein Koaxial-Kabel (50 Ohm) zugeführt und mit $R_T = 22\text{ k}\Omega$ auf ein 1/1000 der ursprünglichen Amplitude abgeschwächt, um die Eingänge der Verstärker genügend zu entkoppeln und ein Übersprechen zu vermeiden.

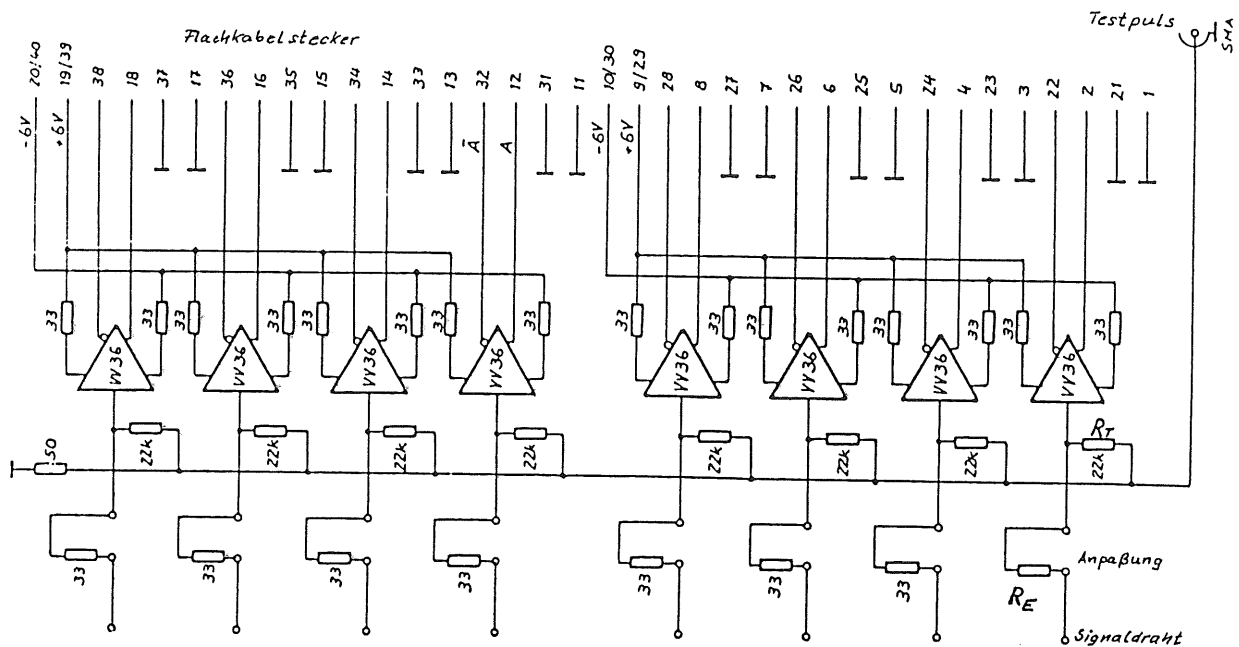


Abb.15: Verschaltung von acht Verstärkern zu einer Gruppe.

5.4 Diskussion des elektrischen Aufbaues

Der Vorteil des beschriebenen elektrischen Aufbaues ist die kompakte Zusammenstellung aller Bauteile auf den dafür vorgesehenen Platinen. Alle Leitungen zu den Kammerdrähten sind so kurz gehalten, wie es nur geht. Dies gilt für die Verbindungen zwischen Vorverstärkern und Signaldrähten, als auch für die Verbindungen zwischen Spannungsteilern und Feldformdrähten.

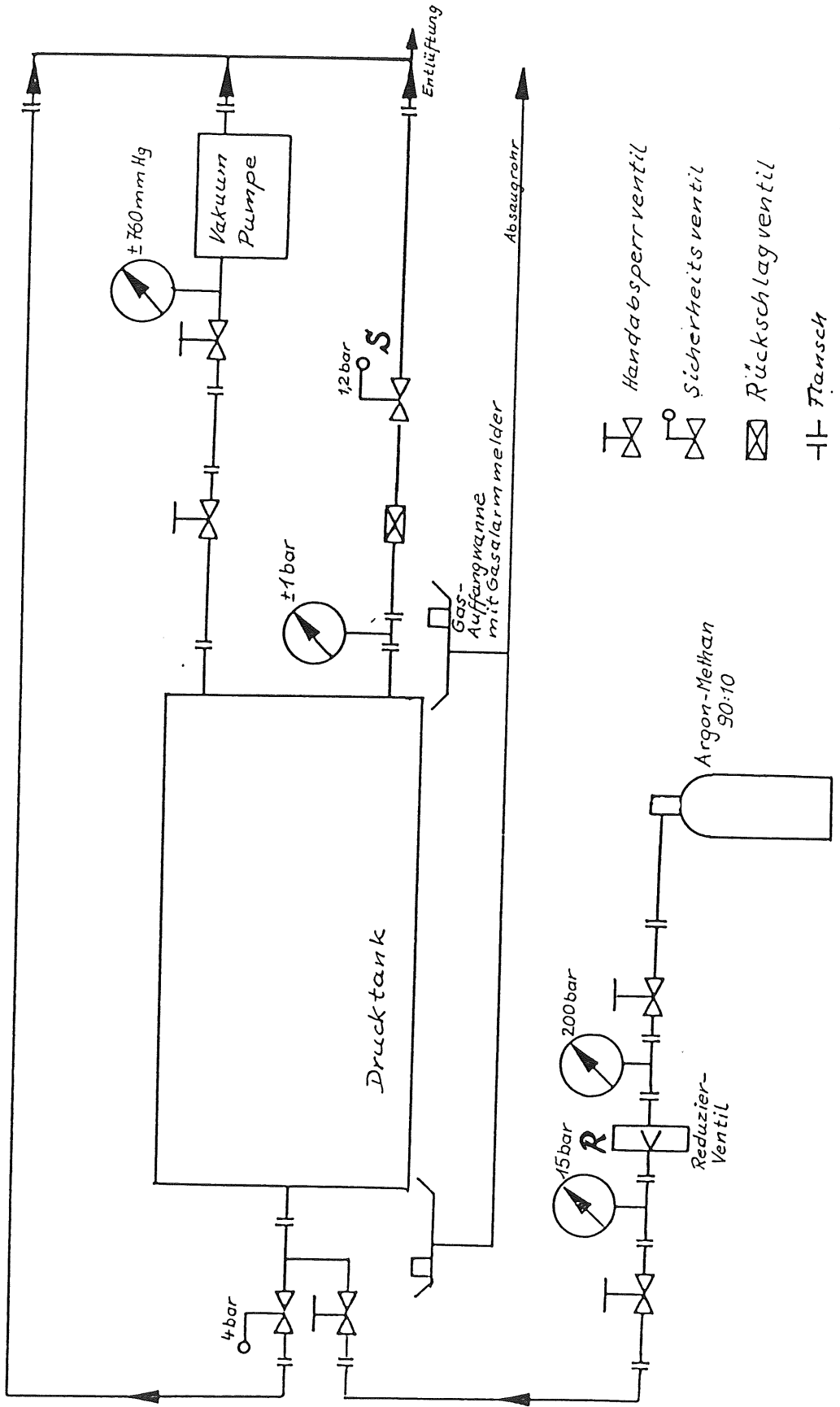
Die gemeinsame Speisung von vierzig VV36 mit nur einem Testsignal hat sich als nachteilig erwiesen. Das Messen des elektronischen Übersprechens (Crosstalk) von einem Verstärker auf

den anderen ist so nicht möglich. Auch die Signal-Einkopplung von einem Signaldraht auf einen anderen ist nicht meßbar und nur schwer aus den rechnerverarbeiteten Daten zu ersehen, da die ausgelesenen Pulse zweier Signaldrähte, die nebeneinanderliegen, auch zeitlich dicht beieinander liegen. Das Übersprechen macht sich dann mit einer verfälschten Amplitude bemerkbar. Die Art der Spannungsversorgung für je acht VV36 über dreißig 40 pol. Flachkabel zwang uns, eigens hierfür Netzteile zu bauen, um die Betriebsspannung wieder von den Datenkabeln zu trennen. Dies bedeutete ein etliches Mehr an Steckverbindungen und auch an Fehlerquellen. Die gemeinsame Spannungsversorgung aller VV 36 wäre sehr viel einfacher gewesen und hätte außerdem die gleiche Steckerbelegung, wie die der Auslese-Elektronik (FADC), zugelassen.

6 GAS-VERSORGUNG

Der Aufbau zur Gasversorgung in Abb.16 hat sich während der einjährigen Testzeit der Spiralkammer mehrmals geändert. Je nach verwendeter Gasmischung sind verschiedene Sicherheitsvorschriften einzuhalten. Bei Verwendung brennbarer Gase (brennbarer Anteil > 5 %) müssen Gas-Melder und Gas-Auffangvorrichtungen für eventuell auftretende Gaslecks installiert werden. Alle Abgase werden über ein eigens dafür vorgesehenes Entlüftungsrohr abgeführt. Gasauffangwannen werden davon getrennt mit einem Absaugrohr aktiv entsorgt. Diese Trennung soll bei einem Ausfall des Absaugventilators verhindern, daß brennbare Gase in die Wannens zurückfallen und aus deren Abfluß austreten. Die Abb. 16 zeigt das Versorgungs-System, wie es für Argon/Methan 90/10 notwendig war.

Vor dem Füllen der Kammer mit einem Zählgas wurde das Tankvolumen mit einer Vakuumpumpe auf 40 mTorr abgepumpt und danach über das Reduzierventil R in der Abb.16 so langsam auf 1.1 bar aufgefüllt, daß sich das Ventil durch die Gasexpansion nicht abkühlt. Die Vereisung des Reduzierventiles muß vermieden werden, um das vorgemischte Zählgas in der auf 70 bar gefüllten Druckflasche nicht zu entmischen.



- Handabsperrventil
- Sicherheitsventil
- Rückschlagventil
- Flansch

K. B. W. 7/65

Abb. 16: Gasversorgungssystem

Nach dem Vorgang des Füllens wurden die Handventile geschlossen und die Kammer bei abgeschlossenem Volumen betrieben. Da, wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, die Driftgeschwindigkeit von der Teilchendichte abhängt und diese konstant bleibt, ist sie von Gasdruckänderungen unabhängig. Auch Temperaturschwankungen beeinflussen die Dichte nicht. Allerdings kann sich der Wirkungsquerschnitt driftender Elektronen im Gas durch die Verschiebung der mittleren thermischen Geschwindigkeit der Gasatome bzw.-moleküle ändern. Dieser Effekt ist jedoch klein und kann bei dem verwendeten Aufbau vernachlässigt werden.

Gemessene Temperaturschwankungen durch die Erwärmung des Magneten, der die Kammer während des Betriebes umgab, betragen 5°C . Dichteänderungen durch Wärmeausdehnung des Tankes sind also nicht zu erwarten. Auch der Einfluß der sich um 0.8 % ändernden mittleren thermischen Geschwindigkeit der Argonatome ist vernachlässigbar, da sich die Geschwindigkeits-Differenz zwischen thermisch bewegten Atomen und driftenden Elektronen weniger als ein Promill ändert.

Sauerstoff ist stark elektronegativ und fängt driftende Elektronen ab. Er darf daher möglichst nicht im Zählgas vorhanden sein. Sein Anteil am Kammergas betrug ca. 100 ppm. Rechnerisch müßte der Sauerstoffanteil der Luft auf 10 ppm bei einem Abpumpdruck von 40 mTorr sinken, setzt man einen isothermen Prozeß für die Zeit des Pumpens voraus. Der höhere Wert entsteht durch das Ausgasen von Oberflächen, in die der Sauerstoff diffundiert.

7 MAGNET

Der Tank, in dem sich die Driftkammer befindet, ist so in Länge und Durchmesser bemessen, daß er in voller Länge in einem Magneten Platz findet. Der Magnet besteht aus zwei aneinandergesetzten TASSO-Kompensations-Magneten mit einem solenoidalen axialen Feld. Verbunden werden die Magneten mit einem Weich Eisenring, der auf seinem Umfang mit zwei Langlöchern versehen ist, um den Strahldurchtritt in Kammermitte zu ermöglichen.

Vor Beginn der Messungen wurde das rotationssymmetrische Magnetfeld mit Hilfe einer Hall-Sonde in der x-z-Ebene vermessen. Bei 5000 A variiert die magnetische Flußdichte entlang der x-Achse von 0.52 Tesla beim Strahleintritt bis 0.62 Tesla in der Symmetrieachse des Magneten (Abb.18). Die Änderung der Flußdichte von 16 % ist auf einen unzureichenden Übergang des magnetischen Flusses im Weicheisenring zurückzuführen.

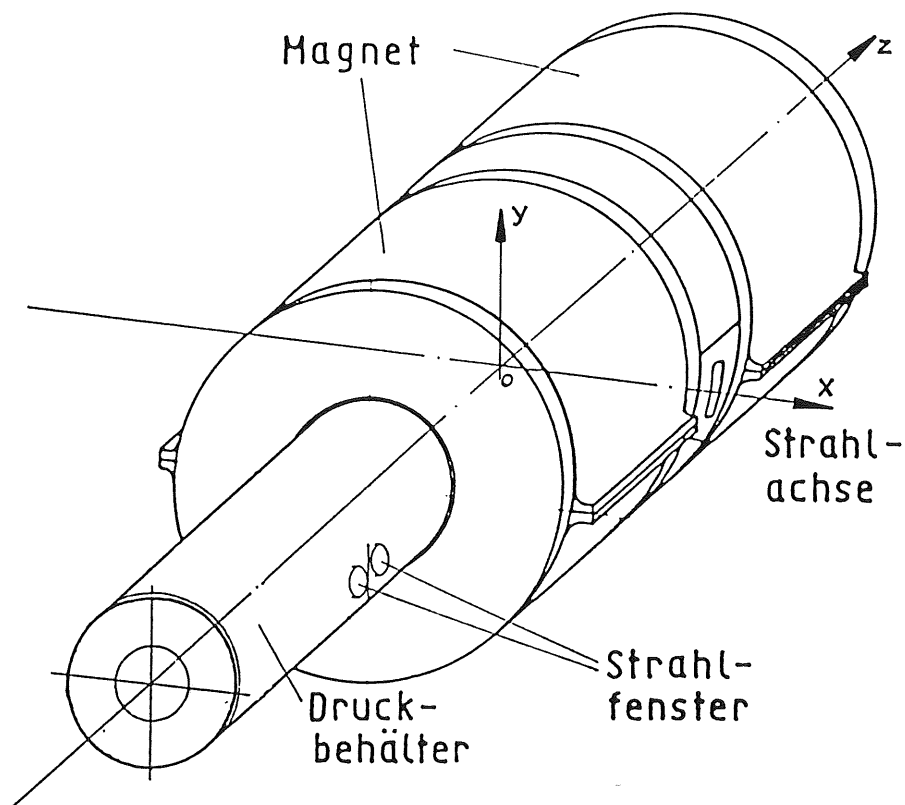


Abb.17: TASSO-Magneten mit herausgezogener Test-Kammer

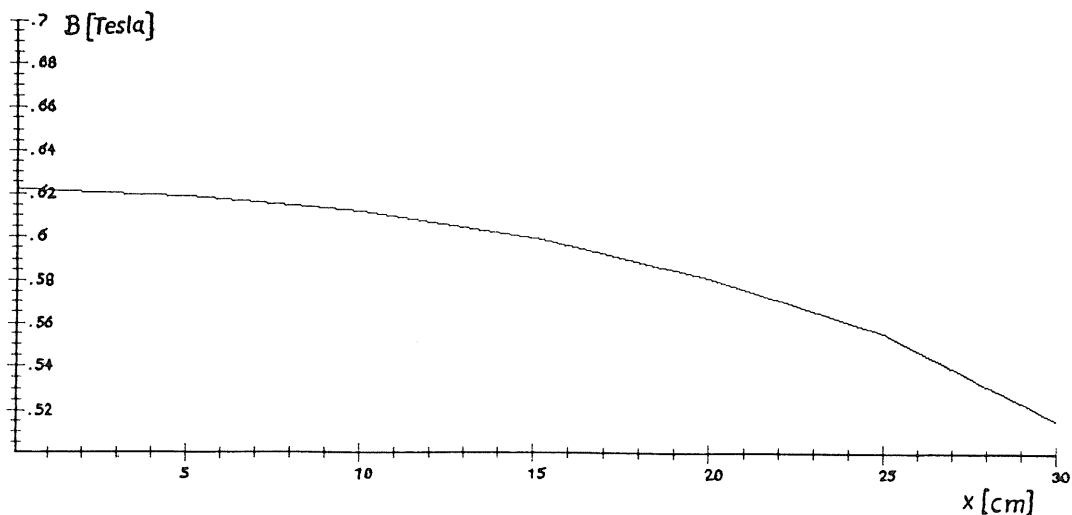


Abb.18: Verlauf der gemessenen Flußdichte entlang der x-Achse

8 PROBLEME BEIM BETRIEB DER SPIRALKAMMER

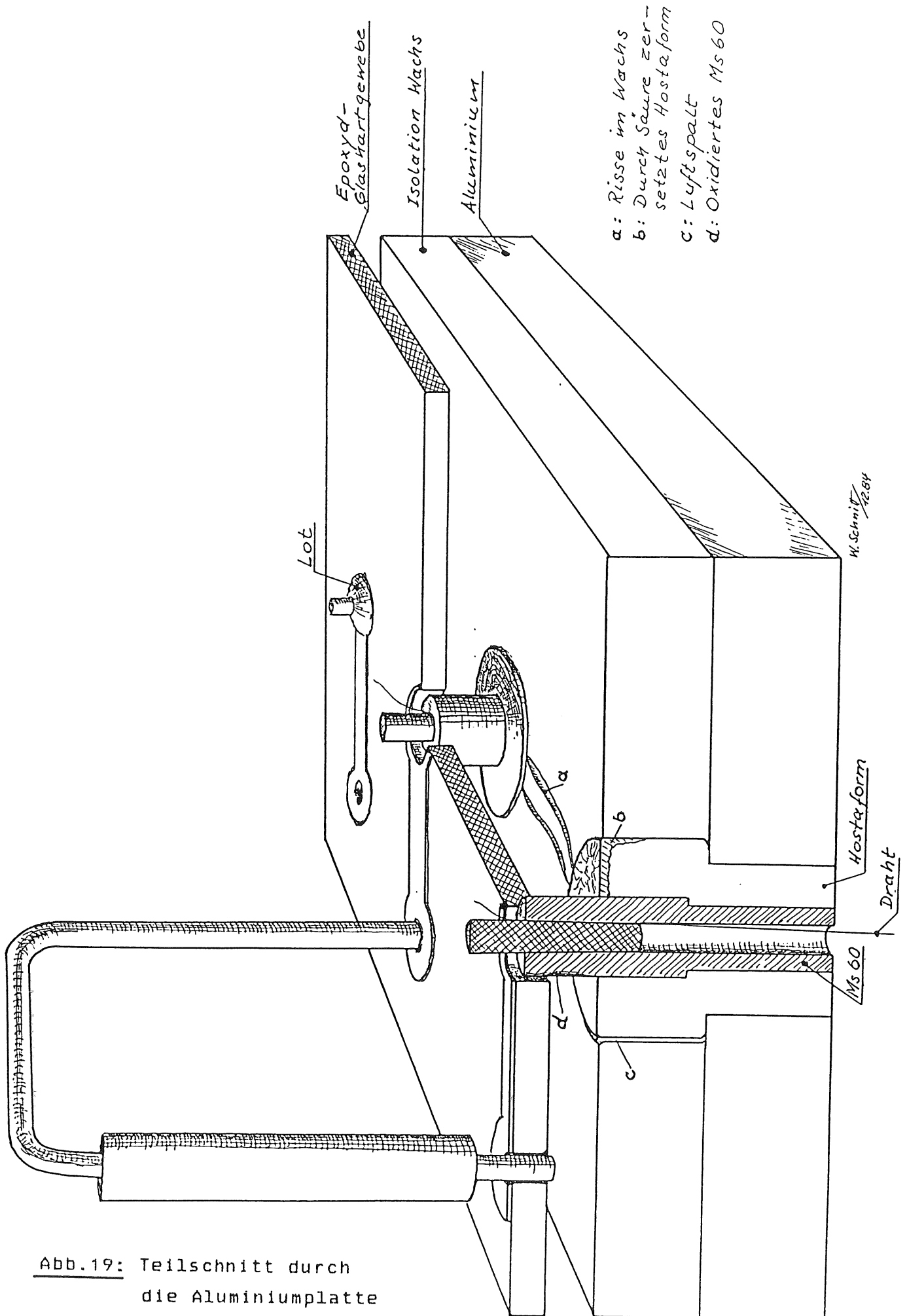
Um die Schwierigkeiten beim Aufbau und Test der Spiralkammer und die daraus resultierende Vorgehensweise verständlich zu machen, muß auf den Stand der Kammer zu Beginn der endgültigen Fertigstellung näher eingegangen werden. Ein Jahr nach Beendigung des Rohbaues begannen die hier beschriebenen Arbeiten an der Driftkammer. Der Rohbau umfaßte alle mechanischen Komponenten wie Kammerrahmen, Drahtdurchführungen, gespannte Drähte und montierte Platinen. Auf den Hauptplatinen waren bereits die Widerstände der Spannungsteiler verlötet.

Zu diesem Zeitpunkt hatten sich Langzeiteffekte eingestellt, die erst im Laufe der Testphase offenbar wurden:

- Die Oberflächen der Kupfer-Beryllium-Drähte waren gegenüber fabrikneuen nachgedunkelt und zeigten bräunliche Flecken, offensichtlich verursacht durch Oxidation.

Die Funktion aller Komponenten in der Nähe von Lötstellen, an denen Löt fett benutzt wurde, waren beeinträchtigt:

- Der Isolationswiderstand der Epoxid-Glasfaser-Leiterplatten war zwischen zwei Lötäugen mit 3 mm Abstand auf 10 kOhm gefallen, drei Größenordnungen unter dem Widerstandswert, der die Lötäugen verbindet. Verantwortlich waren die Elektrolyte des Lötfettes.
- Durch die sauren Bestandteile des Flußmittels waren die Isolatoren der Drahtdurchführungen aus Hostaform zerstört und die Messingteile der Drahthalterung angegriffen (siehe Abbildung 19, Pkte. b u d).
- Die Kolophonium-Wachsmischung, die zur Erhöhung der Hochspannungsfestigkeit um die Isolatoren der Drahthalterungen gegossen worden war, hatte sich abgelöst und war rissig geworden (siehe Abbildung 19, Pkt. a u. c).



- a: Risse im Wachs
- b: Durch Säure zer-
setztes Hostaform
- c: Luftspalt
- d: Oxidiertes Ms 60

Abb. 19: Teilschnitt durch
die Aluminiumplatte

8.1 Defekte Spannungsteiler

Die Werte der Präzisions-Widerstände von 10 MOhm mit einer Toleranz von 0.1 % lagen in eingelötetem Zustand gerade bei einem Zehntel ihres Sollwertes. Diese Beobachtung war nur auf den Hauptplatinen zu machen. Nur dort wurde Lötfett benutzt. Die Erhöhung der Leitfähigkeit der Platinenoberfläche nach der Behandlung mit dem verwendeten Flußmittel war in Testversuchen eindeutig reproduzierbar. Dabei war das Lötfett vor dem Lötvorgang hochohmig und nach der Wärmebehandlung leitend.

8.1.1 Reinigung der Platinen

Zur Entfernung der leitenden Reste des Flußmittels wurde nach einem geeigneten Lösungsmittel, das folgende Forderungen zu erfüllen hatte, gesucht:

- Lösen der Flußmittelreste
- Schonen der Kunststoffe Hostaform und Epoxyd
- Schonen des Kolophonium-Wachsgemisches

Nach Beratung und Löslichkeitsversuchen im Institut für organische Chemie der Universität Hamburg stellte sich 60/70 Petrol-Ether, eine gut fettlösende Leichtbenzin-Fraktion, als geeignet heraus. Die gelösten Fette konnten mit anschließendem Spülen in Methanol restlos entfernt werden. Zur Reinigung der Hauptplatinen, die beidseitig mit dem inzwischen verharzten Flußmittelverunreinigt waren, wurde das Lösungsmittel mit Druck auf die Oberflächen aufgesprüht.

Da die Platinen nicht demontierbar waren (Abschnitt 4.6), wurde das Lösungsmittel mit einem 2 mm dicken VA-Rohr in die Zwischenräume zwischen Platine und Aluminiumplatte eingebracht und dann mit 4 bar auf die Rückseite der Platine gesprüht. Nach der Reinigung lagen die Widerstandswerte innerhalb ihrer Toleranzen und die Spannungsteiler waren funktionstüchtig.

8.2 Defekte Drahtdurchführungen

Nach der Reinigung der Hauptplatinen flossen durch die Spannungsteiler Ströme, die den angelegten Spannungen bis 1000 V proportional waren. Oberhalb von 1000 V wurden Funken in dem Raum zwischen der Hauptplatine und der Aluminiumplatte beobachtet. Die Funken schlugen von der auf Hochspannung liegenden Drahthalterung über den Hostaformisolator durch das Wachs gegen die Aluminiumplatte, die auf Erdpotential liegt. Die unzugänglichen Risse im Wachs, die in Abb.19 angedeutet sind, konnten nicht geschlossen werden.

Da die Platinen nicht an 588 Punkten gleichzeitig abzulöten waren, wurden sie in angelötetem Zustand in Streifen zerfräst. Die Kammermitte war während dieser Arbeit mit Planen vor dem Glasstaub, der bei der Bearbeitung glasfaserverstärkter Platinen entsteht, geschützt. Die Streifen konnten dann abgelötet werden. Erst in diesem Zustand war zu erkennen, daß nicht nur das rissige Wachs, sondern auch zerfressene Isolatoren der Hochspannung nicht mehr standhielten. Das Hostaform hatte auf der Lötseite der Drahthalterung seine Konsistenz geändert. Es war mehlig-weiß und porös geworden. Die aus der Aluminiumplatte herausragenden Isolatoren waren teilweise gespalten (Foto 1). Die Zerstörungen führten wir auf das aggressive Flußmittel zurück. Diese Vermutung wurde durch gleiche Beobachtungen am Cello-Detektor bestärkt [14].

Hostaform ist der Handelsname der Firma Hoechst für ein Acetal-Copolymer. Das Polymerisationsverfahren geht dabei von cyclischen Trimeren des Formaldehyd (Trioxan) aus. Copolymere werden von starken Säuren ($\text{pH} < 4$) und Oxidationsmitteln angegriffen [4]. Nach eigenen Versuchen mit diesem Kunststoff in saurer Lösung konnte beobachtet werden, daß Hostaform seine Elastizität verliert, und unter mechanischer Belastung wie Glas zerbricht. In organischen Lösungsmitteln ist Hostaform dagegen nicht löslich.

B.2.1 Reparatur der Drahtdurchführungen

Zur Reparatur der Hostaformisolatoren wurden ihre aus der Aluminiumplatte herausragenden Enden mit einem Kunstharz eingegossen. Es wurde dazu ein Elektro-Isolier-Gießharz der Firma BASF mit der Bezeichnung DOBECKOT 502 auf Epoxidharz-Basis mit folgenden Eigenschaften verwendet:

■ Durchschlagfestigkeit	110	kV/mm
■ spez. Durchgangswiderstand	10^{16}	Ohm·cm
■ spez. Oberflächenwiderstand	10^{13}	Ohm·cm

Die mechanischen Kenngrößen sind dem technischen Merkblatt DIN 16946, Blatt 1, zu entnehmen.

Das Harz, in Verbindung mit Härter und Beschleuniger, ist bei einer Verarbeitungstemperatur von 60°C in seiner Viskosität mit Wasser vergleichbar. Es war deshalb zu erwarten, daß das Harz auch in die Risse der beschädigten Hostaformteile eindringt.

Die Kammer wurde für den Vorgang des Vergießens so aufgerichtet, daß sich die Aluminiumplatten in der Waagerechten befanden. Die Ränder der jeweils oberen Platte wurden mit einer wasserdichten Kante umklebt, um das Auslaufen des Harzes zu verhindern. Die Harzmasse wurde vor der Verarbeitung im Vakuum entgast und im Wasserbad auf 60°C erwärmt. Verteilt auf einem viertel Quadratmeter ergaben zwei Liter des Harzes eine Füllhöhe von 8 mm. Während der Aushärtungsphase von 24 Stunden wurde der Gießling mit Infrarot-Strahlern auf ca. $60-70^{\circ}\text{C}$ erwärmt.

Die Erfahrung mit dem Umgang dieses warmhärtenden Harzes zeigte, daß die Handhabung nicht unkritisch ist. Als schwierig erwies sich die richtige Temperierung der Aluminiumplatte auf $60-70^{\circ}\text{C}$ über einen Zeitraum von 24 Stunden. Zudem führte die anschließende Auskühlung und Aushärtung wegen eines Volumenschwundes von 6% zu Spannungsrissen im Harz, die aber die Bereiche um die Drahtdurchführungen nicht betrafen.

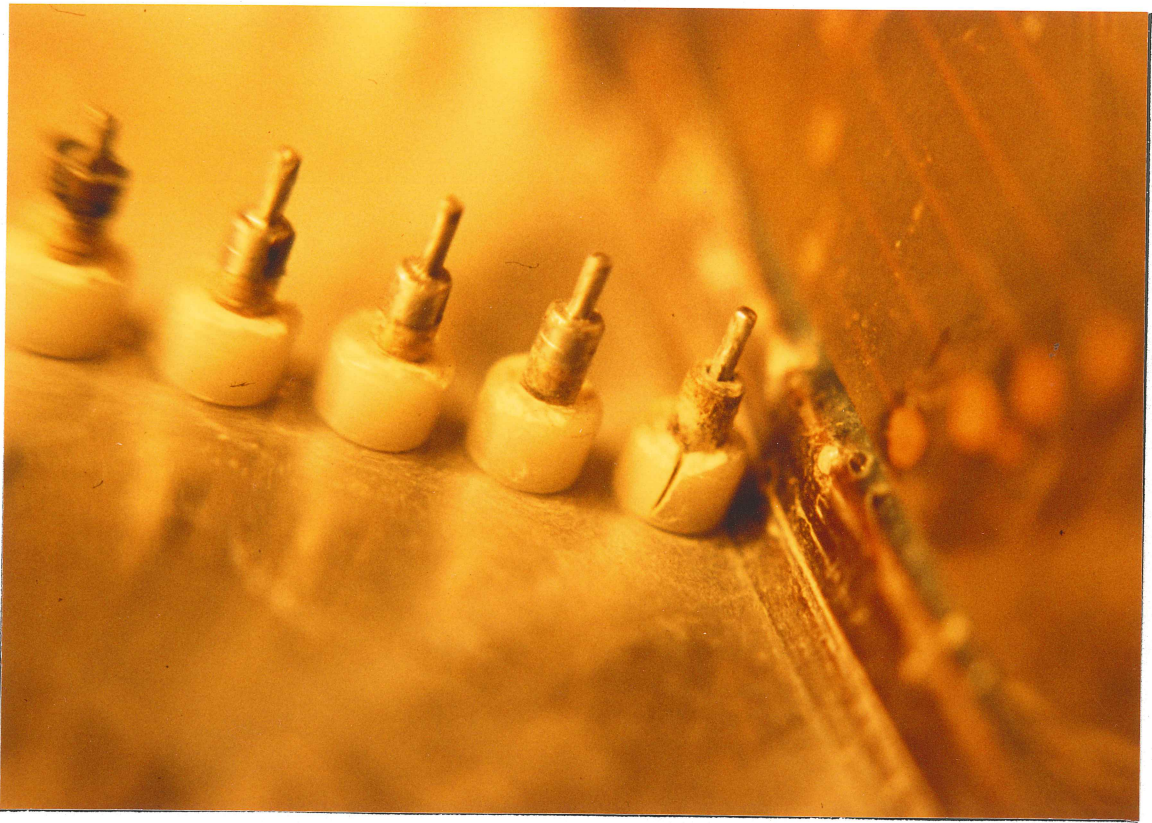


Foto 1: Zerstörte Hostaform-Isolatoren

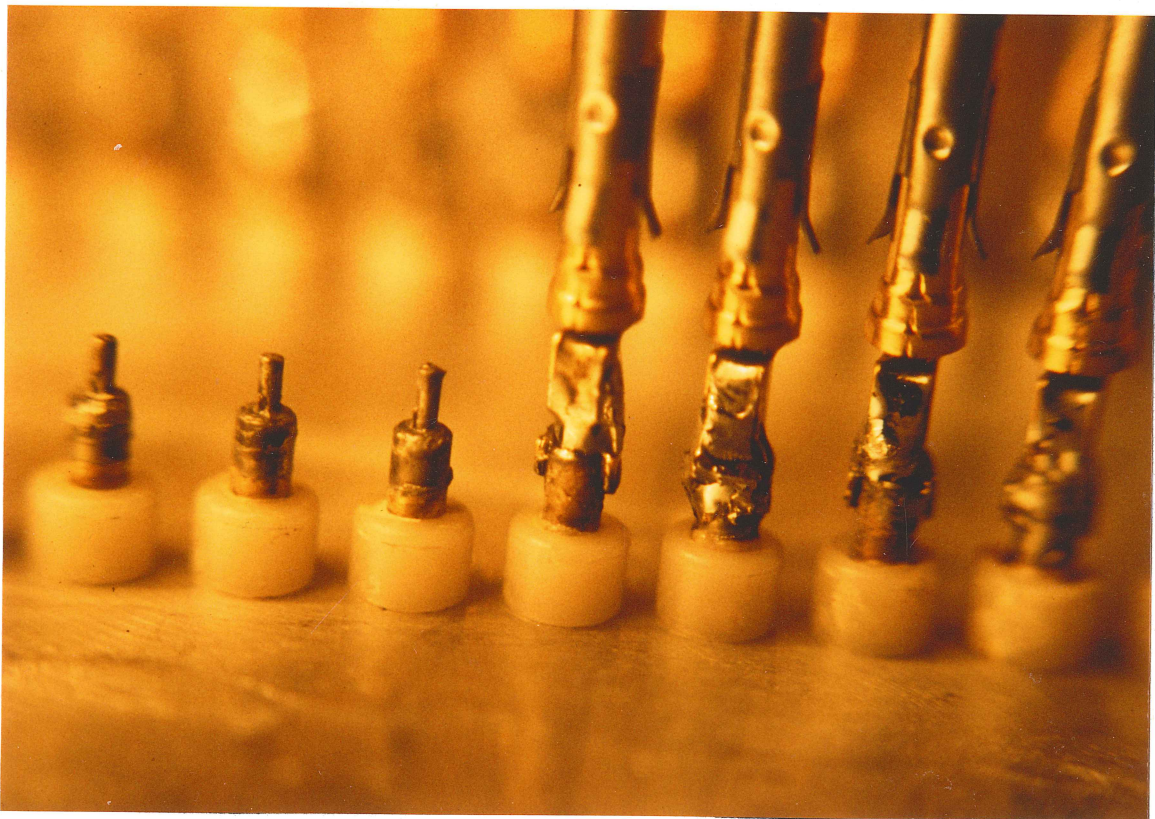


Foto 2: Verlängerte Drahthalterungen

Um die Hauptplatinen nach dem Eingießen der Drahthalterungen bis zu einer Höhe von 8 mm montieren zu können, wurden die Messinghülsen vorher verlängert (Foto 2). Dazu wurden Teile einer Steckverbindungen benutzt, wie sie in NIM-Crates zur Spannungsversorgung verwendet werden. Die Buchsen dieser Steckverbindungen wurden an die Drahthalterung angelötet.

Die Platine wurde zur Montage so über den 588 Buchsen positioniert, daß die Stecker durch die Lötaugen der Platine in die Buchsen eingeführt werden konnten. Stecker und Platine wurden miteinander verlötet. Die Verwendung dieser Verbindung zwischen Hauptplatine und Drahthalterung ermöglicht ein zerstörungsfreies Entfernen der Platine ohne die Erwärmung des thermoplastischen Hostaformisolators.

Ab einer Temperatur von 120°C [4] wird Hostaform plastisch und verformt sich unter der Last der Drahtspannung. Die Drahthalterung der Abbildung 8d kann einsinken und sowohl die Drahtposition, als auch die Drahtspannung ändern.

Bis auf zwei Durchführungen waren alle anderen nach dem Eingießen bis 6 kV in Luft spannungsfest. Die Drähte, deren Isolatoren defekt waren, wurden stillgelegt. Die Durchschläge fanden dort unter dem Harz statt. Vermutlich war das Hostaform sogar in der Bohrung der Aluminiumplatte gerissen.

8.3 Verunreinigung der Kammer mit Silikon-Öl

Während der Vorbereitung der betriebsbereiten Spiralkammer zur ersten Messung im Elektronen-Strahl 22 des DESY führte das undichte Sicherheitsventil S in Abb.16 zur Verunreinigung der gesamten Kammer mit Vakuum-Pumpenöl. Über die ganze Drahtlänge waren mit bloßem Auge Öltröpfchen zu erkennen.

Da sich das für Vakuumpumpen verwendete Silikon-Öl durch einen besonders niedrigen Dampfdruck auszeichnet, läßt sich eine Verunreinigung dieser Art nicht durch weiteres Evakuieren beseitigen.

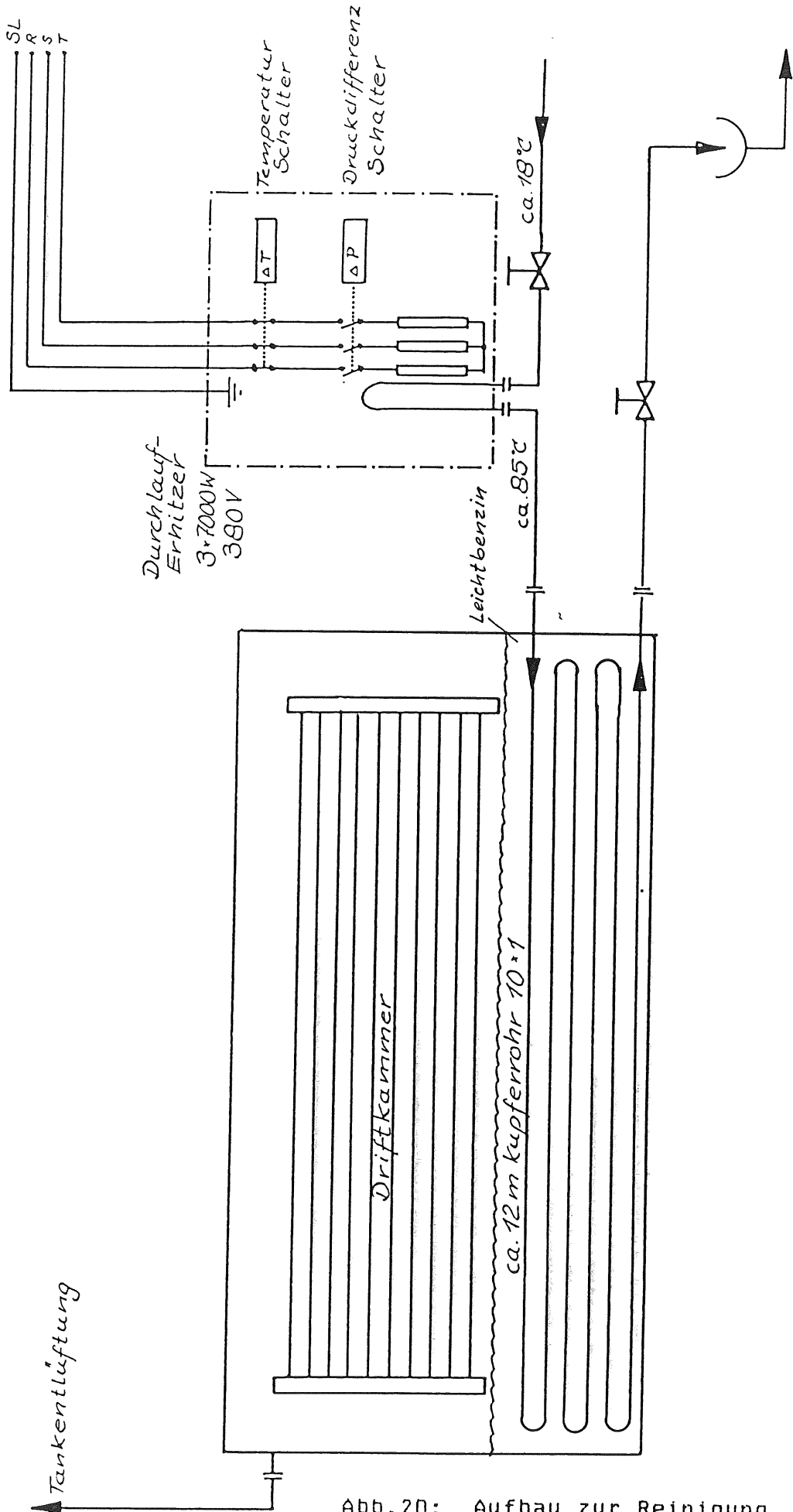
8.3.1 Auskochen der Kammer in Leicht-Benzin

Löslichkeitsversuche mit dem Pumpenöl zeigten, daß sich auch bei dieser Verunreinigung Petrol-Ether der 60/70 Fraktion zur Reinigung eignet. Allerdings schied hier das Besprühen der Drähte mit Lösungsmitteln aus, da sich dies Verfahren nicht unter staubfreien Bedingungen durchführen ließ. Die mechanische Reinigung war wegen der Unzugänglichkeit der inneren Drähte der Spiralkammer ebenfalls unmöglich.

Zur Reinigung der Kammer wurden 40 Liter des Leichtbenzines in den Tank eingefüllt und bei 80°C verdampft. Durch 12 m Kupferrohr, auf dem Boden des Tankes verlegt, wurde 85°C warmes Wasser geleitet, wie es Abb.20 zeigt. Eine direkte elektrische Beheizung wurde aus Sicherheitsgründen nicht in Erwägung gezogen, da ein Leichtbenzin-Luft-Gemisch hochexplosiv ist.

Um einen Druckaufbau im Tank zu verhindern, wurde er mit einem 4 m langen 2"-Schlauch entlüftet. Auf den Tankwänden konnte der Petrol-Ether-Dampf kondensieren und in das Tankvolumen zurücklaufen. Nach einer Wärmeisolation des Tankes kam der Prozeß von Verdampfung und Kondensation in Gang. Mit fortschreitender Erwärmung wanderte die Grenzschicht gasförmigen Leichtbenzins und ausfallender Tröpfchen langsam von unten nach oben und berieselte so alle Drähte. Dieser Vorgang wurde über einen Zeitraum von 3 Tagen wiederholt. Abschließend wurde der Tank mit 800 Liter entmineralisiertem Wasser und einer Beimengung von 5 % Methanol gespült.

Zur Kontrolle wurden nach der Reinigung zwei goldplattierte Wolfram-Drähte samt Drahthalterungen aus der Kammer ausgebaut und auf eventuelle Unterschiede zu neuen Drähten hin untersucht. Einer der beiden Drähte zeigte in einer Ein-Draht-Kammer mit zylinder-symmetrischem Feld keinen Unterschied in der Amplitude und Pulsform zu einem neuen Draht bei der Bestrahlung mit einer Fe-55 Quelle. Auf dem anderen Draht konnte in einer gas-chromatographischen Untersuchung noch Pumpenöl nachgewiesen werden. Eine quantitative Aussage war nicht möglich [1].



H. Schmitt
84

Abb. 20: Aufbau zur Reinigung in Leichtbenzin

8.4 Hohe Kammerströme

Nach der Reinigung der Kammer in Petrol-Ether und dem anschließenden Eingießen der Isolatoren in Kunstharz ergaben mehrere Tests der Hochspannungsfestigkeit ein neues Verhalten der Kammerströme. Probleme traten jetzt nur noch an den Gasverstärkungsdrähten auf. Die Feldformdrähte, mit Spannung über die Widerstandsketten versorgt, waren in Ar/Methan 90/10 bis 3 kV spannungsfest. Bei höheren Spannungen kam es zu Überschlägen auf der Drahtseite der Isolatoren, an der sie 3 mm aus der Aluminiumplatte in die Kammer ragen. Die obere Grenze der Spannungsfestigkeit der Isolatoren war erreicht.

Bei der Erhöhung der Potentialdifferenz zwischen den Gasverstärkungs- und Signaldrähten, die bei 2100 V eine Gasverstärkung von ca. 10^5 zur Ansteuerung der Ausleseelektronik erzeugt, war folgende Beobachtung zu machen:

- -1600 V : Ströme $< 0.1 \mu\text{A}$, Gasverstärkung setzt ein
- -1800 V schlagartiges Einsetzen von Strömen $> 10 \mu\text{A}$. Wert dieser Grenzspannung fällt nach einiger Zeit auf -1200V ! -2100 V nicht erreichbar

Die folgenden phänomenologischen Untersuchungen zeigen, daß dieses Verhalten der Driftkammer auf das Wachstum von Kohlefäden zwischen Gasverstärkungs- und Signaldraht zurückzuführen ist.

Anmerkung:

Im Folgenden wird bewußt die Bezeichnung " Whisker " für den beobachteten Kohlefaden vermieden. Der Begriff wird in der Festkörperphysik benutzt für ein " Fadenkristall " mit ganz spezifischen Eigenschaften. Whiskers sind Einkristalle mit einer geringen Defektdichte und besitzen daher eine ungewöhnlich hohe Festigkeit [14]. Die beobachteten Kohlefäden zeigen rein äußerlich keine Ähnlichkeit mit Abbildungen von Whiskers, die eine sehr gleichmäßige Struktur besitzen. Die Form der Kohlefäden deutet eher auf eine recht unregelmäßige Ablagerung von Kohlenstoff hin (siehe Foto 3).

9 STUDIEN AN EINER DREI-DRAHT-KAMMER

Um das in Abschnitt 8.4 beschriebene Verhalten der Driftkammer verstehen und auch beobachten zu können, wurde eine kleine durchsichtige Testkammer, wie sie in Abb.21 schematisch dargestellt ist, mit drei Drähten in einem 2-Liter-Gefäß aus Plexiglas gebaut. Bis auf die Drahtlänge entsprechen alle Abmessungen denen in der Spiralkammer. Zwei Aluminium-Klötze, in denen die Drahtdurchführungen steckten, liegen zusammen mit dem in der Mitte gespannten goldplattierten Wolframdraht auf Erdpotential. Die beiden Kupfer-Beryllium-Drähte werden über einen Vorwiderstand von 20 M Ω mit negativer Hochspannung versorgt. Dieser Wert, der einen Strom von 100 μ A bei 2000 V zuläßt, hatte sich als ausreichender Schutz für den Signaldraht bewährt.

Vor einer Messung wurde das Volumen auf 1/10 Torr evakuiert und dann mit verschiedenen Gasen einige Minuten gespült. Alle Messungen wurden bei Normaldruck durchgeführt und sind in der Tabelle 1, Seite 49, zusammengefaßt.

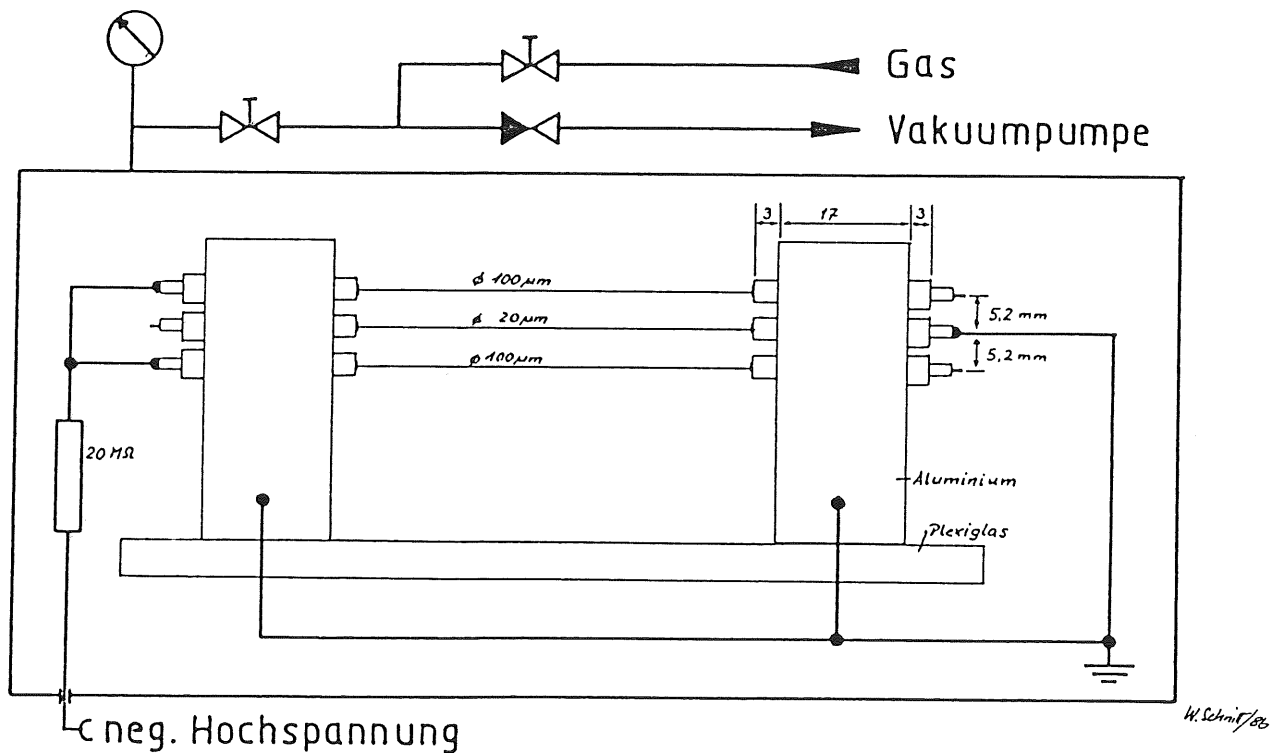


Abb.21: Aufbau der Drei-Draht-Kammer

9.1 Wachstum eines Kohlefadens

Der zeitliche Verlauf des Stromflusses bei dieser Anordnung der Drähte in einer Füllung von Ar/Methan 90/10 war identisch mit den Beobachtungen an der Spiralkammer. Es war bei Erreichen eines Spannungs-Grenzwertes eine lokale stationäre Glimmentladung zu beobachten, in deren Zentrum während einiger Minuten ein schwarzer Faden entlang der Feldlinien vom Kathodendraht in Richtung des Anodendrahtes wuchs. In Abb.22 ist das beobachtete Erscheinungsbild dieser Glimmentladung dargestellt. Zur Neubildung eines Kohlefadens auf einem sauberen Kathodendraht ist etwa eine Oberflächenfeldstärke von $2.9 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$ in Argon/Methan 90/10 notwendig (siehe auch Tabelle 1, S.49). Es war eindeutig die Zündspannung (der beobachtete Grenzwert) abhängig von der Länge des Fadens. Das bedeutete, daß der Faden aus einer leitenden schwarzen Substanz bestand, wofür nur der im Methan gebundene Kohlenstoff in Frage kam.

Bevor sich die Wurzel des Kohlefadens bildete, sprang der Ort der Glimmentladung beim erstmaligen Zünden mehrmals auf den

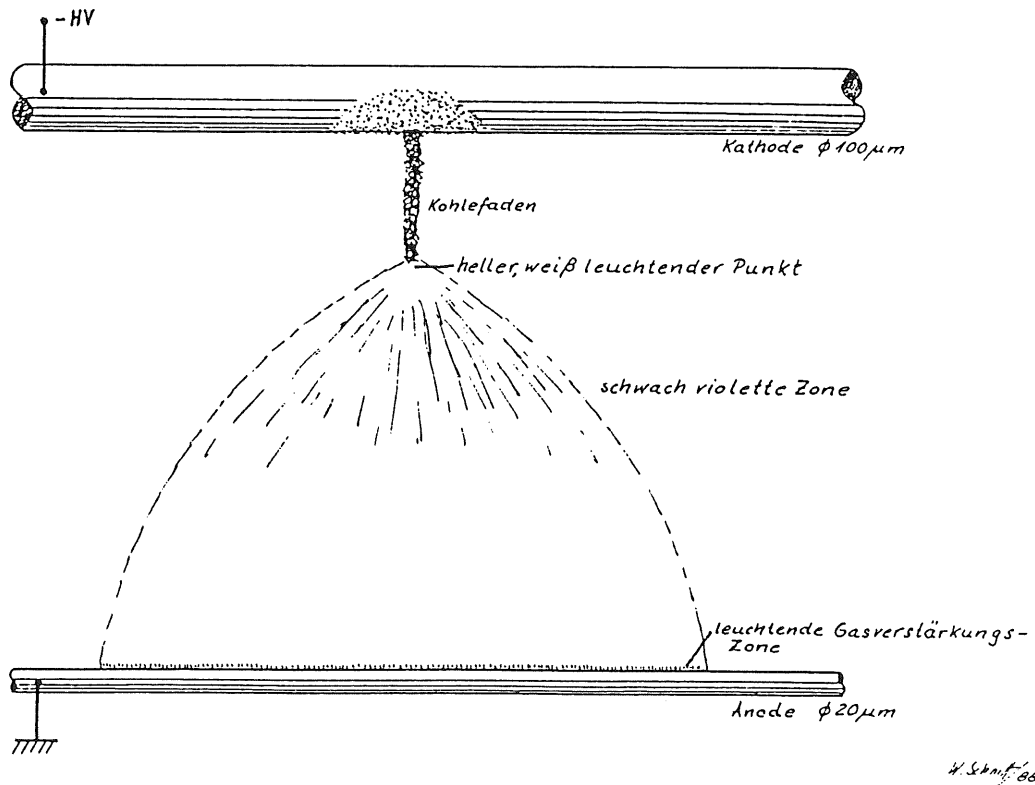


Abb.22 : Erscheinungsbild der beobachteten Glimmentladung

Kathodendrähten hin und her, und etablierte sich dann an einer Stelle auf dem Draht, an der das Wachstum des Fadens begann. Um den zeitlichen Verlauf der Zündspannung zu messen, wurde die angelegte Spannung etwa um 25 V pro Sekunde erhöht, bis die Glimmentladung einsetzte. Der Wert wurde notiert und dann die Spannung soweit erniedrigt, bis die Leuchterscheinung erlosch. Dieser Vorgang, hier in Ar/Methan 90/10 (Abb.23), wurde mehrmals wiederholt. Die Unstetigkeiten in der aufgenommenen Kurve sind auf das unregelmäßige Wachstum des Fadens zurückzuführen. Oft brach in der Aufbauphase das Ende des Fadens ab. Der Kohlenstoff lagerte sich dann meist erneut an der Bruchstelle an. Die Längenabnahme machte sich in der Zunahme der Zündspannung bemerkbar, da die Feldstärke zwischen dem Ende des leitenden Fadens und der Anode kleiner wurde.

In der hellen Zone der Glimmentladung an der Kathode schien die thermische Aufheizung durch das Auftreffen positiv geladener Ionen auszureichen, um das Methan zu spalten. Bei Temperaturen um 1000°C werden die stabilsten Kohlenwasserstoffe, zu denen Methan zählt, "gecrackt"[3]. Die weiße Farbe des hell leuchtenden Kohlefadenendes läßt eine Temperatur oberhalb von 1500°C vermuten (siehe Abschnitt 9.3.5).

Der Kohlefaden, der bei der obigen Messung der Zündspannungen entstand, wurde durch das Okular eines Mikroskopes fotografiert (Foto 3). Zu erkennen ist der Kupfer-Beryllium-Kathodendraht mit einem Durchmesser von 100 µm, auf dem senkrecht ein Kohlefaden gewachsen ist. Um die erkennbare Wurzel des abgebrochenen Fadens befindet sich ein metallisch-gelb glänzender erhabener Bereich. Durch mechanische Reinigung mit in Alkohol getränktem Zellstoff ließ sich der Belag fast vollständig entfernen. Es handelt sich demnach nicht um Aufrauungen der Drahtoberfläche, sondern um das vom Anodendraht abgetragene Gold.

Neben Kohlefäden bildeten sich auch weiße kristalline Strukturen auf den Drahtoberflächen sowohl auf der Anode (Foto 4), als auch auf der Kathode. Dafür kommen Silizium-Verbindungen in Frage, deren Ursprung das Silikon-Öl sein könnte.

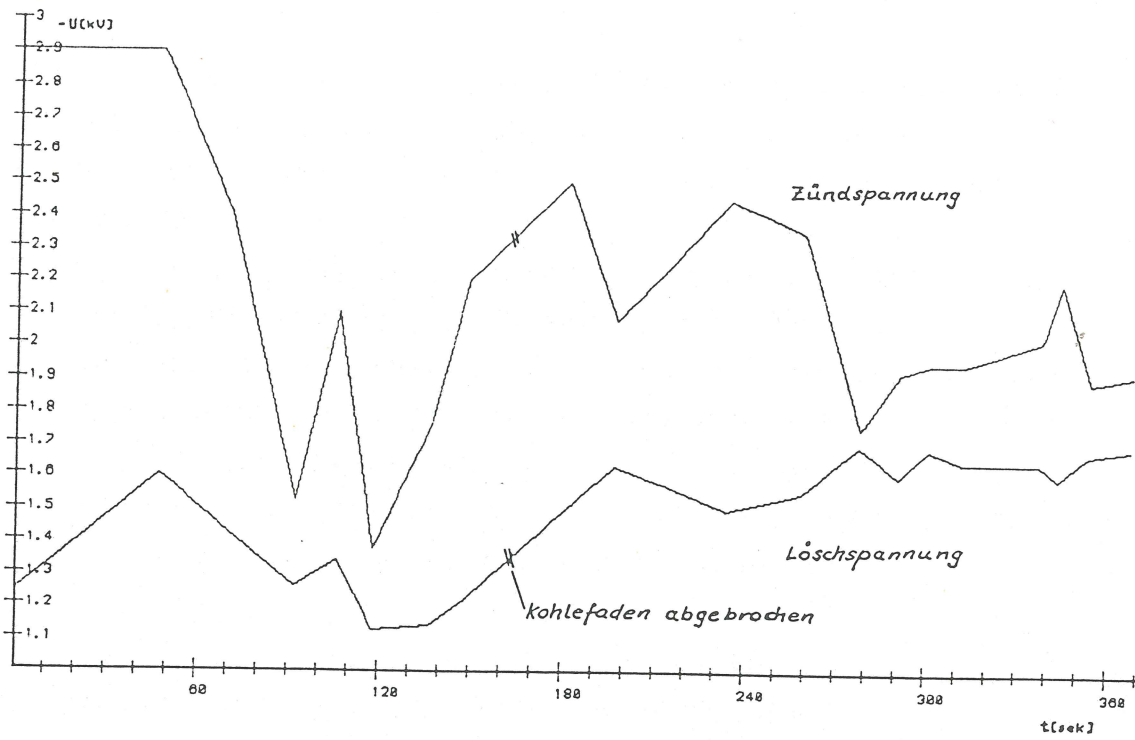


Abb.23: Spannungsverlauf während des Kohlefadenwachstums

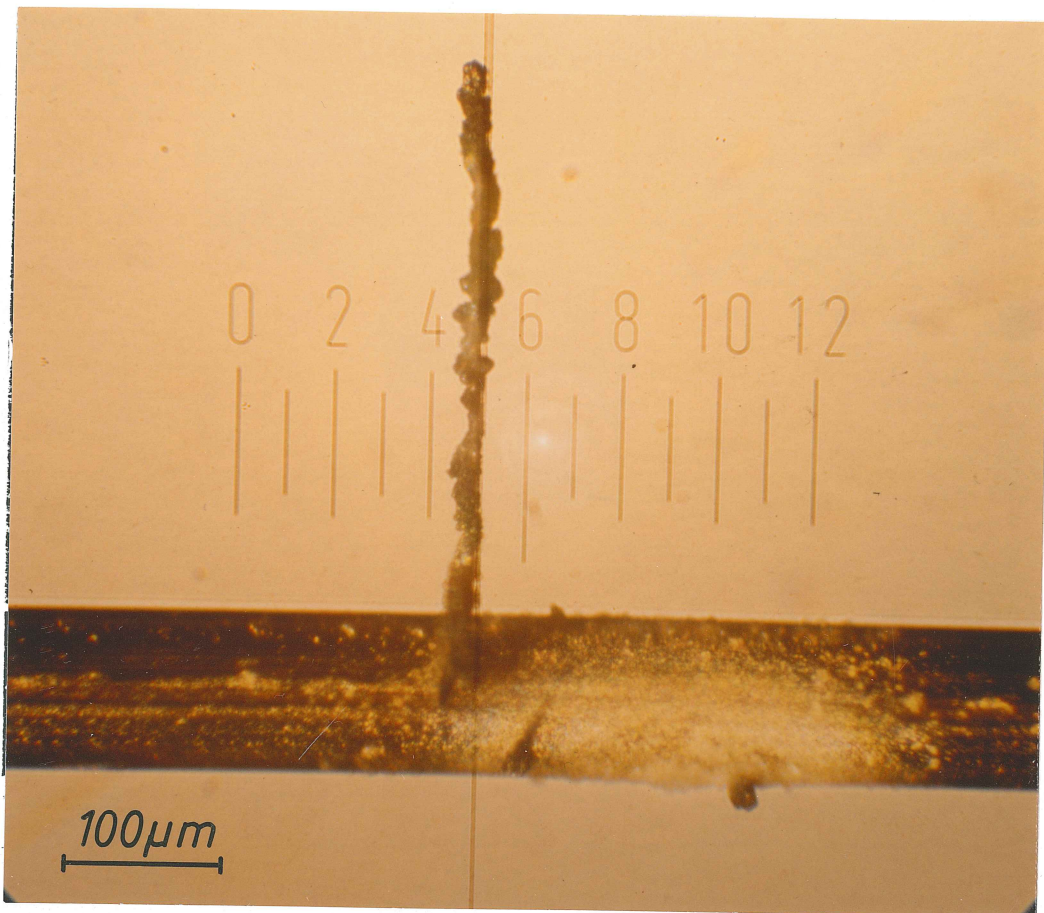


Foto 3: Kathodendraht (ϕ 100 μ m) mit Kohlefaden

9.2 Zerstörung der Drahtoberfläche

Einen wichtigen Schluß läßt die Beobachtung der Intensitätsverteilung des emittierten Lichtes an der Anode zu.

Zündet eine Gasentladung zwischen zwei sauberen Drähten, so ist die Leuchterscheinung an der Anode dicht über ihrer Oberfläche kathodenseitig gleichmäßig verteilt (Abb.22). Dieses gleichmäßige Leuchten im Bereich der Gasverstärkung geht nach einigen Minuten Glimmdauer verloren, und es bilden sich auf der Oberfläche verteilt hellere und dunklere Bereiche aus. Die anfangs glatte Oberfläche hat sich zu einer rauhen Fläche umgestaltet und an Spitzen bilden sich hohe Feldstärken, welche die Bildung von Ablagerungen begünstigen (Foto 4).

Die Oberflächenveränderung ist im frühen Stadium unter dem Lichtmikroskop noch nicht zu erkennen, obwohl sich die Form der Leuchterscheinung um die Anode bereits geändert hat. Die Goldablagerungen auf dem Kathodendraht zeigen, daß die Goldplattierung des Wolframdrahtes langsam abgetragen wird, bis die Wolfram-Seele freiliegt. Foto 4 zeigt einen Anodendraht, nach dem er ca. 10 Minuten bei einem mittleren Strom von $15 \mu\text{A}$ mißhandelt wurde.

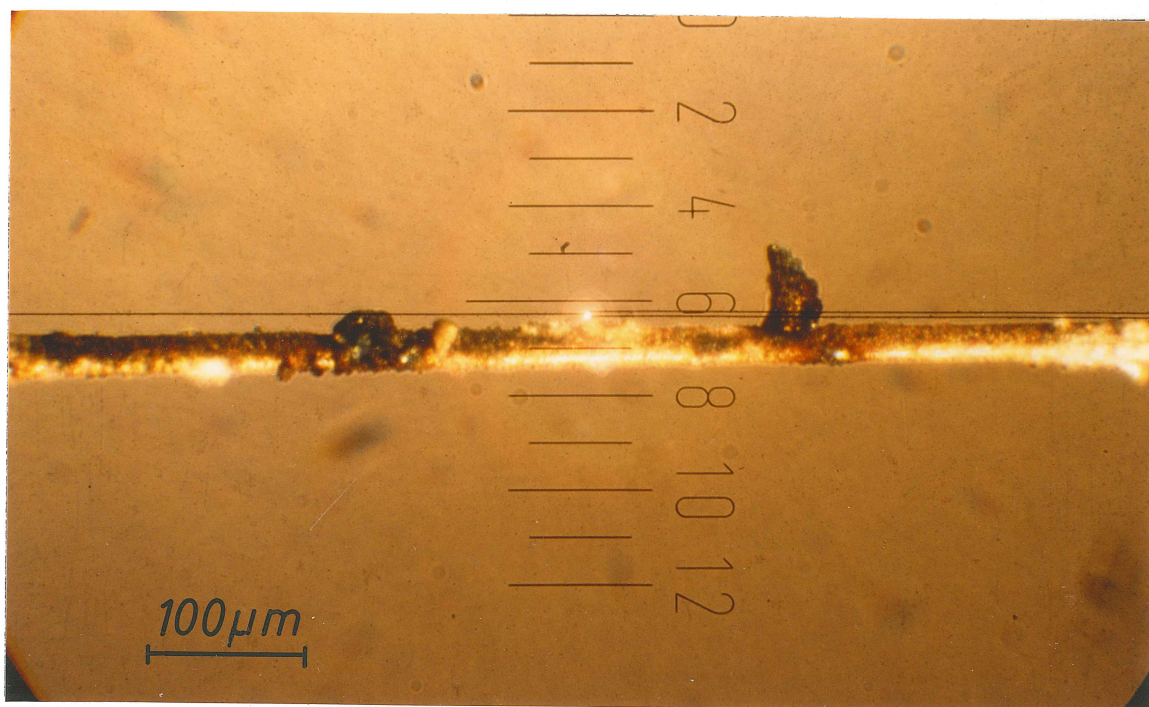


Foto 4: Anodendraht mit beschädigter Oberfläche

9.3 Untersuchung verschiedener Gase

Im Hinblick auf die Probleme mit der Spiralkammer interessierten die Antworten besonders auf folgende Fragen:

- Wie hängt die Kohlefadenbildung vom Gasgemisch ab ?
- Wie lassen sich Kohlefäden in der Kammer beseitigen ?
- Welches Gasgemisch führt nicht zur Kohlefadenbildung ?

9.3.1 Durchbruchfeldstärken

Ein wichtiges Kriterium für die Verwendbarkeit eines Gases, speziell in dieser Driftkammer, ist dessen Durchschlagfestigkeit. Bestimmt wurde sie im homogenen elektrischen Feld mit zwei parallelen Kupferplatten im Abstand von ca.1 mm. Durch Erhöhen der Potentialdifferenz zwischen den Platten bis zum Durchschlag konnten folgende Werte gemessen werden:

Argon		950 V/mm
Ar/Methan	90:10	1580 V/mm
Ar/Kohlendioxid/Methan	89:9.9:1	1560 V/mm
Kohlendioxid		3000 V/mm
Stickstoff(molekular)		3200 V/mm
Luft		3120 V/mm

Das Verhältnis der Durchbruchfeldstärken von Luft und Ar/Methan 90/10 von etwa 2:1 entsprach den Messungen an der Spiralkammer und macht deutlich, daß die Kammer zwar in Luft spannungsfest sein kann, im Zählgas aber zu Durchbrüchen neigt. Die Durchbruchfeldstärken von Gasen, deren Hauptbestandteil Argon ist (Tab.1, S.49), unterschieden sich nach unseren Messungen nur wenig von Ar/Methan 90/10.

9.3.2 Verhalten eines Kohlefadens

In der Drei-Draht-Kammer wurde auf neu eingezogenen Drähten in Ar/Methan 90/10 ein Kohlefaden erzeugt und der Verlauf der Zünd- und Löschspannung auf gleiche Weise, wie in Abschnitt 9.1 beschrieben, gemessen. Bei einer Länge des Kohlefadens von ca.1 mm wurde das Volumen evakuiert und mit einem anderen Gasgemisch gefüllt. Die Messung wurde mit dem gleichen Kohlefaden wiederholt und das Gas erneut ausgetauscht. Die so erhaltenen Werte der Zünd- und Löschspannung sind in Abb.24 für verschiedene Gasgemische dargestellt. Die zugehörigen Beobachtungen sind in der Tabelle 1 zusammengefaßt.

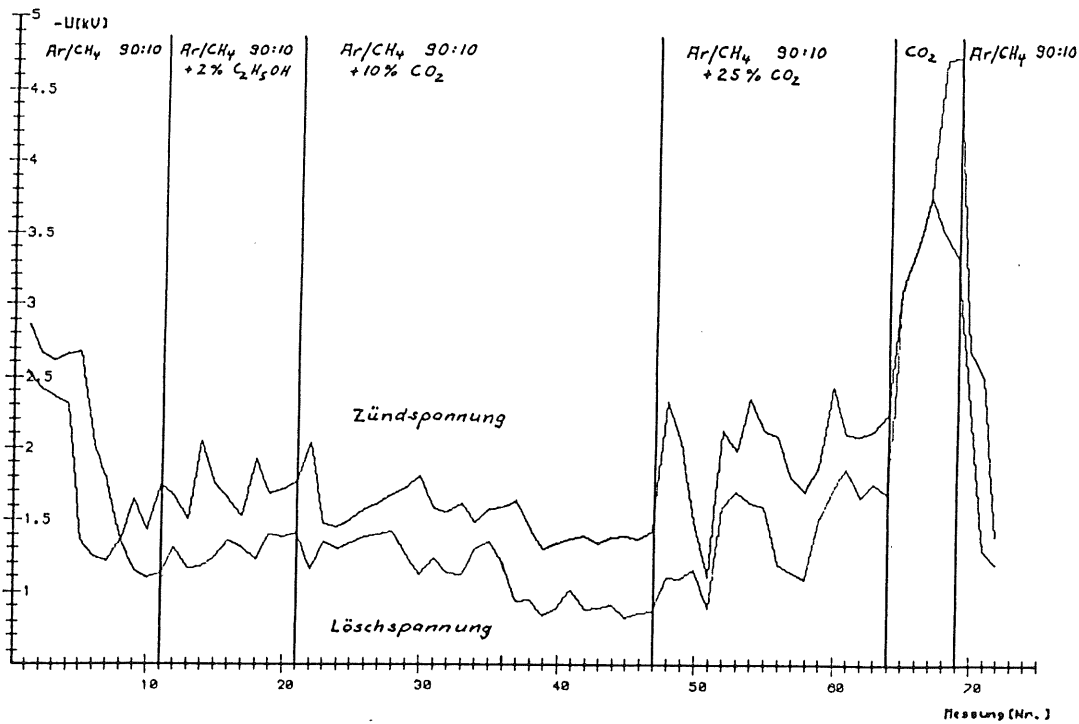


Abb.24: Verhalten der Spannungs-Grenzwerte in verschiedenen Gasen bei vorhandenem Kohlefaden

Eindeutig nimmt die Geschwindigkeit des Kohlefaden-Wachstums mit steigendem Kohlendioxid-Anteil bei gleichzeitig geringer werdendem Methan-Anteil ab. Wird dem Ar/Methan 90/10 mehr als 25 % Kohlendioxid zugemischt, so baut sich der Kohlefaden ab. Beimengungen von Alkohol verlangsamten das Wachstum, führten aber nie zur Rückbildung des Fadens. Drähte, auf denen eine Glimmentladung gezündete hatte, waren irreparabel geschädigt.

Die Beobachtungen des Kohlefaden-Wachstums sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Die genannten Spannungen beziehen sich auf einen Drahtabstand von 5.2 mm bei einem Gadruck von 1 bar. Als 'schnell' wird im Folgenden bezeichnet, wenn sich nach einer Glimmdauer von ca. 1 min. der helle Punkt der Glimmentladung deutlich von der Oberfläche der Kathode entfernt hat, also eine Wachstumsgeschwindigkeit von einigen 100 µm/min.

Tabelle 1: Beobachtungen des Kohlefaden-Wachstums.

- a) Beobachtungen an unbeschädigten Drähten
- b) Beobachtungen bei vorhandenem Kohlefaden
- Uzo maximale Zündspannung ohne Verunreinigung
- Uzm maximale Zündspannung mit Kohlefaden
- *** Zündspannung von der Länge des Kohlefadens abhängig

Gas [%]	Uzo[kV]	Uzm[kV]	Bemerkung
Ar/CH ₄ 90:10	2.87	***	a) schnelles Wachstum b) schnelles Weiterwachsen
Ar/CH ₄ /C ₂ H ₅ OH 89.1:9.9:1	3.0	***	a) schnelles Wachstum b) schnelles Weiterwachsen
Ar/CH ₄ /C ₂ H ₅ OH 88.2:9.8:2	3.1	***	a) Wachstum sehr langsam b) langsames Weiterwachsen
Ar/CH ₄ /C ₂ H ₅ OH 86.4:9.6:4	3.1	***	a) keine Neubildung b) keine Änderung
Ar/CH ₄ /CO ₂ 81:9:10	2.9	***	a) keine Neubildung b) keine Änderung
Ar/CH ₄ /CO ₂ 67.5:7.5:25	3.2	< 3.0	a) keine Neubildung b) leichter Abbau
Ar/CH ₄ /CO ₂ 89.1:1:9.9	2.9	< 2.7	a) keine Neubildung b) leichter Abbau
CO ₂ 100	5.1	4.9	a) keine Neubildung b) deutlicher Abbau
Luft	6.0	6.0	a) Überschläge über Isolatoren u. zw. Drähten b) Kohle verbrennt bis a)

Anmerkung: Die Ströme haben keine große Aussagekraft, da sie im wesentlichen von dem Vorwiderstand, dem Kohlefadenwiderstand und dem Widerstand der leitenden Gasstrecke bestimmt werden. Gasstrecke, Fadenzlänge und Fadendurchmesser ändern sich ständig. Die Ströme schwanken daher im Bereich von 5 - 10 µA.

9.3.3 Oxidation eines Kohlefadens

Das deutliche Ansteigen der Zündspannung bei vorhandenem Kohlefaden in CO₂ (Absch. 9.3.2) ist nicht nur auf eine höhere Durchbruchfeldstärke zurückzuführen. Es war reproduzierbar festzustellen, daß sich der Kohlefaden fast völlig abbaut. Verantwortlich ist vermutlich das " Boudouard-Gleichgewicht " von Kohlenstoff, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid [5]:



Dieses Gleichgewicht verschiebt sich bei höherer Temperatur nach rechts. Bei 950°C stehen 1.5 Vol.% CO₂ mit 98.5 Vol.% CO im Gleichgewicht. Bei 450°C kehrt sich dieses Verhältnis um. Kohlendioxid läßt sich deshalb oberhalb von 800°C mit Kohlenstoff zu Kohlenmonoxid reduzieren. Der helle Punkt der Glimmentladung läßt Temperaturen von 1500°C am Kohlefadenende vermuten.

Zum Abschluß der Messungen, die in Abb.20 wiedergegeben sind, wurde CO₂ wieder gegen Ar/CH₄ 90/10 getauscht, um zu überprüfen, ob der Kohlefaden wirklich vollständig abgebaut worden war. Es war aber zu beobachten, daß sich der helle Punkt der Glimmentladung am gleichen Ort des zuvor oxidierten Kohlefadens befand. Unter dem Mikroskop zeigte die Struktur der Oberfläche des Drahtes den ehemaligen Standort des Kohlefadens. Zu erkennen war ein dunkler, fast schwarzer, Belag mit einer Dicke kleiner als 5 µm auf dem Draht. Die Kupfer-Beryllium-Legierung war um diesen Ort herum in den Anlaßfarben des Kupfers verfärbt. Dies deutete auf eine thermische Belastung des Kathodenmaterials von über 400°C hin.

Die Oberfläche des Anodendrahtes wies keine sichtbaren Veränderungen auf. Die Oxidation der Kohlefäden zu Kohlenmonoxid erschien daher als einzig mögliches Verfahren, um auch die Spiralkammer von ihren Kohleablagerungen zu befreien. Die Gefahr der Drahtzerstörung bei der Verbrennung der Kohle in Luft war wegen der unkontrollierbaren Funkenentladungen zu groß.

9.3.4 Ionisation in Molekül-Gasen

Zündet eine selbstständige Gasentladung, so können die angeregten Argonatome, die durch Stoßionisation entstanden sind, den Grundzustand nur durch einen Strahlungsprozeß erreichen. Die kleinste emittierte Energie von 11.6 eV für Argon ist dabei größer als das Ionisationspotential des Kupfers (7.7 eV). Es können also Photoelektronen aus dem Kathodenmaterial ausgelöst werden, die ihrerseits in der Lage sind, durch Stoßionisation neue Ladungsträger zu erzeugen. Diese Sekundärionisation läßt sich durch Zugabe mehratomiger Gase unterdrücken. Die Zündung der Glimmentladung wird verzögert. Der Einfluß äußert sich auch in der Zunahme der Durchbruchfeldstärken des Argon (9.3.1). Nach F.Sauli [6] kann die Gasverstärkung von 10^3 - 10^4 auf Werte bis 10^7 erhöht werden, ohne daß es zu einem Durchbruch kommt.

Auf der Suche nach Gasen, die den Betrieb der Spiralkammer ohne Neubildung von Kohlefäden erlaubt, wurde mit Zusätzen von Ethanol und Kohlendioxid als Löschgas experimentiert. Schon geringe Mengen dieser mehratomigen Verbindungen beeinflussen den Ionisationsprozeß des Argon während der Gasentladung. Die Vielzahl der möglichen Anregungszustände solcher Moleküle erlaubt die Absorption von Photonen über große Energiebereiche. Die vom angeregten Argon emittierten Photonen werden im Bereich von 7.9 bis 14.5 eV von Methan abgefangen, Ethanol deckt einen noch größeren Bereich ab [6]. Allgemein werden von solchen Löschgasen UV-Quanten im Bereich von 100 bis 200 nm absorbiert [13].

Von Nachteil ist die Entstehung von Dissoziationsprodukten an der Kathode (beobachtete Kohlefäden). Auch die Bildung von Polymerisations-Produkten während der Neutralisation organischer Radikale an den Elektroden ist möglich [6,7,8,11]. Der Nachweis und die Identifizierung derartiger Ablagerungen, die sich oft erst während des Betriebes einer Drahtkammer über längere Zeiträume unter der Belastung ionisierender Strahlung bilden, erfordert einen hohen apparativen Aufwand und war im Rahmen unserer Untersuchungen nicht möglich.

9.3.5 Wirkung von Belägen auf Kammerdrähten

Wie in den vorangegangenen Abschnitten gezeigt, äußern sich Verunreinigungen des Kathodendrahtes durch eine Zündspannungs-erniedrigung. Der augenfälligste Unterschied zu neuen Drähten ist die veränderte Oberfläche an den Stellen, an denen eine Glimmentladung in Ar/Methan zu beobachten war. Die Fläche ist aufgeraut und mit Ablagerungen kleiner Schichtdicken ($< 5 \mu\text{m}$) bis hin zu Kohlefäden von mehreren $100 \mu\text{m}$ Länge versehen.

Nimmt man das Ende des Fadens als Kugeloberfläche mit einem Radius von $5 \mu\text{m}$ an, ergibt sich bei einer angelegten Spannung von 2000 V ein Wert von $4 \cdot 10^6 \text{ V/cm}$ für die Feldstärke an der Fadenspitze. Das bedeutet eine 10-fach höhere Feldstärke als an der sauberen Kathodenoberfläche ($\text{ca. } 4 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$).

Diese Abschätzung zeigt, daß an Kohleablagerungen, deren Struktur meist noch kleinere Radien aufweist, so hohe Feldstärken erreicht werden, daß die Feldemission von Elektronen möglich wird. Dafür spricht auch die relativ kleine Austrittsarbeit von Kohlenstoff (4.5 eV) gegenüber Kupfer (7.7 eV), die bei Anwesenheit großer Feldstärken leichter überwunden werden kann [11]. Die freien Elektronen werden nach dem Austritt aus dem Kathoden-Material soweit beschleunigt, daß sie eine Glimmentladung zünden. Aus den Beobachtungen kann geschlossen werden, daß die einmal gezündete Glimmentladung auch durch Glühemission am Kohlefadenende aufrechterhalten wird. Die weiße Farbe des glühenden Endes, das als heller Punkt beschrieben wurde, läßt Temperaturen oberhalb von 1500°C vermuten.

Anders verhält es sich mit nichtleitenden Belägen des Kathodendrahtes. Auf der äußeren Fläche des Belages sammeln sich positiv geladene Ionen, die sich bei Ionisationsvorgängen im Gas gebildet haben. Der hohe Widerstand der abgelagerten Schicht verhindert eine schnelle Neutralisation der Ionen und es kommt schließlich zu so hohen lokalen Feldstärken, daß eine kalte Feldemission von Elektronen an der Kathode möglich wird. Diese Erscheinung (Malter-Effekt) wird von einigen Autoren für die

auf tretenden Gasentladungen verantwortlich gemacht. F.Sauli [6] schreibt, daß bei Zählraten von 100 bis 1000 Ereignissen pro Sekunde und Quadratzentimeter der Grenzwert erreicht ist, bei dem die Anlagerung positiver Ionen nicht mehr durch den Leckstrom im Isolator neutralisiert werden kann.

Auch M.Atac [12] beobachtete diesen Effekt, ausgelöst durch Epoxy-Klebstoff-Spritzer auf Kathodendrähten. Die Entladungen hörten auf, nachdem die Strahlungsquelle entfernt wurde. Mit sauberen Drähten unter gleichen Bedingungen traten keine Entladungen auf.

Anders erklären D.J.Grady und J.C.Robertson [9] ein Phänomen, das vermutlich durch Kupfersulfid-Ablagerungen auf der Anode verursacht wurde. Sie registrierten aus der Kammer kommende Pulse ohne Strahlungsquelle, deren Rate und Amplitude mit zunehmender Betriebsdauer anwuchs. Auch Kupfersulfid ist ein schlechter Leiter und kann an seiner Oberfläche, so deren Erklärung, Elektronen ansammeln, die in der Kammer durch den Gasverstärkungs-Vorgang erzeugt wurden. Die Feldstärke wächst soweit an, bis der Isolator durchschlagen wird.

In allen Fällen, bei denen es sich um großflächige Drahtbeläge im sensitiven Bereich des Detektors handelt, war die Neigung zu Entladungen gekoppelt mit dem Rückgang der Gasverstärkung. Von A.Smith und M.J.L.Turner [8] konnte zudem gezeigt werden, daß die Ladungsvervielfachung in Anodennähe mit dicker werdendem Belag abnimmt.

Alle erwähnten Studien zeigen, wie vielfältig sich Verunreinigungen von Anoden- und Kathodendrähten bemerkbar machen. Die Erniedrigung der Zündspannung durch Oxidation der Cu-Be-Kathodendrähte kann also nicht ausgeschlossen werden, da auch Metalloxide eine isolierende Oberflächenversiegelung ausbilden können. Die Zugabe von Wasser kann die Leitfähigkeit nichtleitender Beläge verbessern und dadurch verursachte Entladungen vermeiden. Auch Öl-Rückstände (8.3.1) auf den Drähten könnten eine Verschlechterung der Gasverstärkung zur Folge haben.

10 ANWENDUNG DER STUDIEN AUF DIE SPIRALKAMMER

Um die Spiralkammer von ihren Kohlefäden zu befreien, wählten wir die in Abschnitt 9.3.2 beschriebene Methode der Oxidation von Kohlenstoff in Kohlendioxid. Erwartet wurde ein ähnlicher Zündspannungsverlauf, wie er aus der Abbildung 24 hervorgeht. Wir hofften, die negative Hochspannung an den Kathodendrähten in der Signaldrahtebene stufenweise bis auf 4900 V erhöhen zu können. Zwischendurch sollten gezündete und wieder verlöschende Glimmentladungen Ströme von einigen 10 μA verursachen. Um die Funkenbildung, die zum Reißen der dünnen Signaldrähte führen kann, zu verhindern, wurde in jede Hochspannungszuleitung zuvor ein 20 M Ω -Vorwiderstand eingelötet.

Die mit Kohlendioxid (1020 mbar) gefüllte Kammer zeigte anfänglich das erwartete Verhalten. Die Zündspannung von 3000 V (etwa 1500 V in Ar/Methan 90/10) konnte aber nur auf 3600 V erhöht werden. Bei Erreichen dieses Wertes flossen stoßartige Ströme zwischen 8 und 10 μA , die bei weiterer Spannungserhöhung linear anstiegen. Die Stromstöße wiederholten sich im Rhythmus von ca. 75 Hz. Durch die Strahleintrittsfenster in Kammermitte konnten Funken zwischen den Drähten beobachtet werden.

Mit der Spannung von 3600 V hatten wir den Wert erreicht, an dem die elektrostatische Anziehung zwischen exponierten Drähten so groß wurde, daß sie ihren Abstand verkleinerten. Mit der Abstandsverringerung steigt die Feldstärke zwischen den Drähten, bis die Durchbruchspannung erreicht wird. Es kommt zur Entladung und die fehlende Anziehungskraft läßt den Draht wieder zurückfallen. Der Draht schwingt zurück und die Zeit (ca. 14 ms) reicht aus, um das Feld und damit die Anziehungskraft erneut aufzubauen. Es kommt zu einer Resonanzschwingung einzelner Drähte, die sich durch deren elektrische und elektrostatische Kopplung auf die anderen Drähte überträgt. Die Frequenz von 75 Hz deckt sich mit der Resonanzfrequenz der auf 50 g vorgespannten Signaldrähte. Zudem konnte festgestellt werden, daß Drähte an den Segment-Enden zuerst mit

Resonanzfrequenz schwingen. Die Feldrechnungen von H.Kreiser [2] zeigen besonders an den Segment-Enden inhomogene Driftfelder, die zu einer instabilen Lage der Drähte beitragen. Auch die elektrostatische Abstoßung zweier Feldformdrähte am Rand der Signaldrahtebene, die auf gleichem Potential liegen, führt zu deren Instabilität.

Nachträgliche Vermessungen der relativen Drahtpositionen mit einem Theodoliten ergaben einen quadratischen Zusammenhang zwischen Auslenkung x und Potentialdifferenz U ($x \sim U^2$) der äußeren Signaldrähte. Bei 1000 V war dort eine Verrückung von ca. 50 μm , bei 2000 V ca. 125 μm und bei 3000 V schon etwa 500 μm messbar. Da dies aber nur Rand-Drähte betraf, die bei der von M.Pfeiffer [1] diskutierten Ortmesung keine Rolle spielten, und erst bei hohen Spannungen (> 3600 V) zu Problemen führte, die für die Gasverstärkung (max.-2100 V) nicht benötigt wurden, wird nicht weiter auf das instabile Verhalten der Drähte unter extremen Bedingungen eingegangen.

Wegen der mechanisch bedingten Grenzspannung zwischen Signal- und Gasverstärkungs-Drähten in CO_2 von 3600 V war der Maximalwert von 4900 V (Abb.24 u. Tabelle 1) zum Abbau der Kohlefäden nicht erreichbar. Da die Wahl auf $\text{Ar}/\text{CH}_4/\text{CO}_2$ (89.1:1:9.9) als zukünftiges Zählgas fiel, mit dem auch die Gruppe F22 des DESY gute Erfahrungen in ihrer Vertex-Driftkammer gemacht hatte, konnte die zu erwartende Zündspannung für dieses Gas in der Spiralkammer näherungsweise berechnet werden. Der Maximalwert für das 'Vertex-Kammer-Gas' beträgt 2700 V bei verunreinigten Drähten mit einem Drahtabstand von 5.2 mm. Nimmt man an, daß die gemessenen Maximalwerte in CO_2 und dem Zählgas (Tabelle 1) proportional zu den Grenzwerten sind, so ergibt sich eine Grenzspannung von 1984 V ($=2700\text{V} \cdot 3600\text{V} / 4900\text{V}$) für die erwartete Zündspannung im Zählgas. Dieser Grenzwert der Gasverstärkungsspannung konnte an der Spiralkammer auch gemessen werden und war nicht ausreichend für die nötige Betriebssicherheit der Kammer, da die Gasverstärkung ($\approx 10^5$) erst bei einer Potentialdifferenz von 2100 V zwischen Signal- und Gasverstärkungsdraht groß genug war, um die Meß-Elektronik anzusteuern [1].

Erst die Zugabe von zwei Prozent Wasser (Dampfdruck 17.5 Torr) erlaubte einen stabilen Betriebszustand über die Dauer der letztlich einwöchigen Messung zur Bestimmung der Ortsauflösung, Driftgeschwindigkeit und Lorentzwinkel bei vorhandenem Magnetfeld, die ausführlich von M.Pfeiffer [1] diskutiert wird.

Wasser wurde zum Zählgas zugesetzt, da es sich an Orten großer Feldinhomogenitäten wegen seines Dipolmomentes ansammelt und dort Unebenheiten und Oberflächen-Verunreinigungen einhüllt und die Wirkung isolierender Beläge auf den Drähten mildert.

Die von M.Pfeiffer [1] diskutierten Meßergebnisse zeigen eine Auffälligkeit. Die Driftgeschwindigkeit liegt ca.30 % unter der des Zählgases ohne Wasserzugabe.

Der Einfluß des Wassers auf die Driftgeschwindigkeit kann ebenfalls durch seinen Dipol-Charakter erklärt werden. Das Wassermolekül richtet sich im elektrischen Feld aus und schwächt es lokal ab. Dies führt zur Verkleinerung des Driftfeldes und damit zu einer kleineren Driftgeschwindigkeit.

11 ZUSAMMENFASSUNG

Die Idee einer spiralförmigen Jet-Driftkammer besteht darin, die Impulsauflösung bei starken Magnetfeldern (>1 Tesla) zu verbessern, ohne dabei die toten Zonen der Driftkammer zu vergrößern. Unter dem Einfluß des Magnetfeldes entstehen bei der herkömmlichen Jet-Kammer Räume im Driftvolumen, aus denen keine Ladungen die Signaldrähte erreichen können. Die spiralförmige Anordnung der Drähte in der Testkammer erlaubt bei einem Lorentzwinkel von 15 Grad eine optimale Ausnutzung des Kammervolumens.

Neben der Anordnung der Kammerdrähte unterscheidet sich die Test-Spiralkammer von der JADE-Jet-Kammer im mechanischen und elektrischen Aufbau in folgenden Punkten:

- Die Test-Kammerdrähte werden mit Drahtdurchführungen positioniert
- Alle Bauelemente sind auf Platinen mit einer kurzen Verbindung zu den Signal- und Feldformdrähten untergebracht
- Ladungsverstärker mit bipolaren Ausgängen ermöglichen die störungsfreie Datenübertragung vom Ort der Signalentstehung zur datenverarbeitenden Elektronik

Der störungsfreie Betrieb der Testkammer war zu Beginn der Diplomarbeit nicht gewährleistet. Durch die Verwendung eines ungeeigneten Lötfettes zur Montage der Hauptplatinen war die Hochspannungsfestigkeit der Kammer beeinträchtigt. Die Isolatoren der Drahtdurchführungen aus Hostaform und die Spannungsteiler der Feldformdrähte waren dadurch funktionsuntüchtig und erforderten deren Reinigung und Reparatur.

Im Gasversorgungssystem verursachte ein defektes Sicherheitsventil die Verunreinigung der Kammer mit Vakuumpumpenöl, die durch eine Reinigung der gesamten Kammer in Leichtbenzin beseitigt werden konnte.

In den Testmessungen wurden erhöhte Ströme zwischen den Signal- und Gasverstärkungsdrähten beobachtet. Diese Ströme konnten auf die Bildung von Kohlefäden in Argon/Methan 90/10 zurückgeführt werden. In einer Drei-Draht-Kammer wurde das Wachstum von Kohlefäden sowie deren Abbau in verschiedenen Gasen untersucht. Bei Oberflächenfeldstärken von 10^6 V/cm auf den Kathoden-drähten wird das Methan im Zählgas "gecrackt" und der Kohlenstoff auf der Kathodenoberfläche abgelagert. In Kohlendioxid kann ein so entstandener Kohlefaden zu Kohlenmonoxid oxidiert und damit abgetragen werden.

Dieses Verfahren wurde auf die Test-Spiralkammer angewandt und führte zwar zu einer Verbesserung der Hochspannungsfestigkeit von 1200 V in Ar/CH₄ auf 1984 V in Ar/CH₄/CO₂ (89.1:1:9.9), reichte aber für die Gasverstärkung von 10^5 nicht aus. Hierfür war eine Potentialdifferenz von 2100 V zwischen den Drähten erforderlich. Nur durch den Zusatz von 2 % Wasser war die nötige Betriebssicherheit der Kammer für ihre Vermessung erreichbar.

Der Betrieb der Test-Spiralkammer in Ar/CH₄/CO₂ (89.1:1:9.9) erfordert eine Driftfeldstärke von ca. 650 V/cm (ohne H₂O) im Arbeitspunkt bei einem Gasdruck von 1 bar. Die Spannungsfestigkeit der Drahtdurchführungen von 3 kV im Zählgas erlaubte eine mittlere elektrische Feldstärke im Driftvolumen von 234 V/cm.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] M.Pfeiffer
Diplomarbeit in Vorbereitung 1986
- [2] H.Kreiser
Diplomarbeit in Vorbereitung 1986
- [3] Organikum
Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1976
- [4] H.Saechtling
Kunststoff-Taschenbuch, 22.Ausgabe
- [5] H.R.Christen
Grundlagen der anorganischen Chemie
Verlag Sauerländer, 1973
- [6] F.Sauli
Principles of Operation of Multiwire
Proportional and Drift Chambers
Genf 1977
- [7] M.Turula and J.C.Vermuelen
Ageing Effects in Drift Chambers
CERN 1982, North-Holland Publishing Company 1983
- [8] A.Smith and M.J.L Turner
Lifetime of Proportional Counters
Leicester, UK, 1981, North-Holland Publishing Company 1982
- [9] D.J.Grady and J.C.Robertson
A spurious Pulse Problem in a gas flow
Proportional Counter
Michigan, USA, 1980, North-Holland Publishing Company 1981
- [10] H.Sipila and M.L. Järvinen
extended Lifetime of a Wire Chamber
Finnland, 1983, North-Holland Publishing Company 1983
- [11] Ch.Weißmantel und C.Hamann
Grundlagen der Festkörperphysik
Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1981
- [12] M.Atac
Breakdown Processes in Wire Chambers
Fermi National Accelerator Laboratory 1982
- [13] K.Kleinknecht
Detektoren für Teilchenstrahlung
Teubner-Studienbücher, Dortmund 1984
- [14] Y.Holler
persönliche Mitteilung 1986
- [15] U.Tietze und Ch.Schenk
Halbleiterschaltungstechnik
Springer-Verlag 1980

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. G. Weber für die Ermöglichung dieser Arbeit danken. Herrn Dr. W. Bartel und Herrn Dr. R. Meinke danke ich für die Betreuung.

Herr Prof. Dr. G. Heinzelmann trug durch seine Diskussionsbereitschaft zum Gelingen dieser Arbeit bei.

Herr Dipl. Ing. H. Matsumura war jederzeit bereit, uns bei den vielfältigen Problemen der Elektronik zu beraten und hilfreiche Tips zu geben.

Besonderer Dank gilt Matthias Pfeiffer und Helmut Kreiser für die Zusammenarbeit während der gesamten Test- und Aufbauphase der Spiraldriftkammer.

Hiermit versichere ich, die Arbeit selbständig und unter Verwendung der angeführten Referenzen angefertigt zu haben.

Hamburg, im Mai 1986