

KfK 2916 B
Februar 1980

**Bestimmung der Trajektorien
einlaufender Antiprotonen in
einem Experiment zur
Untersuchung gebundener
Zustände im Antiproton-
Proton-System**

H. Glöckner
Institut für Kernphysik

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
INSTITUT FÜR KERNPHYSIK
KfK 2916B

BESTIMMUNG DER TRAJEKTORIEN EINLAUFENDER
ANTIPROTONEN IN EINEM EXPERIMENT ZUR
UNTERSUCHUNG GEBUNDENER ZUSTÄNDE
IM ANTIPROTON-PROTON-SYSTEM^{*}

Hansjörg Glöckner

^{*} von der Fakultät für Physik der Universität Karlsruhe genehmigte
Diplomarbeit

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

ZUSAMMENFASSUNG

Mit einem Vieldraht-Proportional-Kammersystem (MWPC) wurden in einem Experiment am CERN, das nach gebundenen Zuständen im Antiproton-Proton-System sucht, die Flugbahnen der einlaufenden Teilchen bestimmt. In der vorliegenden Arbeit werden der Entwurf, die Konstruktion und die Labortests des Vieldraht-Proportional-Kammersystems beschrieben. Ausführlich werden die Probleme, die an der Ausleseelektronik und bei der "on-line-Datennahme" auftraten, behandelt. Außerdem wird das Auswerteprogramm zur Rekonstruktion der Flugbahnen aufgelistet und kommentiert. Zusätzlich wird der verwendete Selektions-Algorithmus, der zu einer Flugbahn-Rekonstruktions-Wahrscheinlichkeit von ca. 95 % führte, erklärt. Schließlich werden noch die Ergebnisse eines Testruns zur Untersuchung der Kammer- und Strahleigenschaften diskutiert.

DETERMINATION OF THE TRAJECTORIES OF INCOMING ANTIPROTONS IN AN
EXPERIMENT FOR STUDYING BOUND STATES IN THE ANTIPROTON-PROTON-
SYSTEM

ABSTRACT

In an experiment at CERN looking for bound states in a proton-antiproton-system the trajectories of the incoming charged particles were determined with a Multiwire-Proportional-Chambersystem (MWPC).

This work describes the conception, the construction and the laboratory tests of the Multiwire-Proportional-Chambersystem. A detailed treatment of the problems involved with the read-out-electronics and with the on-line data taking is given. Moreover the analysis program for reconstructing the particle trajectories is listed and commented. Additionally the used selection-algorithm, which led to a trajectory reconstruction efficiency of about 95 %, is explained. Finally the results of a test run for studying the chamber- and beam-characteristics are discussed.

INHALTSVERZEICHNIS:

	Seite
EINLEITUNG	1
1. DAS EXPERIMENT	3
1.1 Der Strahl	3
1.2 Der experimentelle Aufbau	5
2. KONSTRUKTION UND INBETRIEBNAHME DER VIELDRAHT- PROPORTIONALKAMMERN (MWPC)	7
2.1 Entwurf der Kammern	7
2.2 Montage des Vieldraht-Proportional-kammer-Systems	9
2.3 Aufgetretene Probleme beim Betreiben der Kammern	18
2.3.1 Der erste Kammertest mit Argon-CO ₂	19
3. TEST DER KAMMERN MIT RADIOAKTIVEN QUELLEN	23
3.1 Das Auffinden des idealen Mischungsverhältnisses von Argon und Äthan	23
3.2 Die Energieauflösung	25
3.3 Die Zeitauflösung	31
3.4 Die Stromkurve	34
4. DIE AUSLESEELEKTRONIK	35
4.1 Kurzbeschreibung des MWPC-Auslesesystems PCOS II	35
4.2 Anschluß des Kammer-systems an die Auslese-elektronik	39
4.3 Das Erden der Kammern und der Folge-elektronik	43
5. EINSATZ DES KAMMERSYSTEMS AM \bar{P} -STRAHL	44
5.1 Das Auffinden der optimalen Betriebsparameter	44
5.1.1 Die Plateau-Kurve ("on-line")	44
5.1.2 Die Gate- und Delay-Kurve	47
5.1.3 Die Hilfselektroden ("Guard-Strips") und Homogenitätsmessung	49
5.2 Die Datennahme	51

6. AUSWERTUNG	53
6.1 Untersuchungen des Kammersystems	53
6.1.1 Die Nachweiswahrscheinlichkeit	53
6.1.2 Die Ortsauflösung	58
6.1.3 Die Clusterverteilungen	61
6.2 Die Strahluntersuchungen	67
6.2.1 Der Energieverlust der \bar{p} beim Durchgang durch die Teleskopzähler	67
6.2.2 Die Strahlverteilung	71
6.2.3 Die Kammer-Akzeptanz des Strahl-Phasenraumes	74
6.2.4 Die Auswirkung der Kammerakzeptanz auf die Messung der Winkel-Aufstreuung	76
6.2.5 Die Winkel-Aufstreuung des \bar{p} -Strahles unmittelbar vor dem Target	81
7. FEHLER BEI DER FLUGBAHNREKONSTRUKTION	87
8. ZUSAMMENFASSUNG	93
ANHANG	
A1. RECHNERPROGRAMM ZUR REKONSTRUKTION DER FLUGBAHNEN	96
A2. BESCHREIBUNG DES FLUGBAHN-REKONSTRUKTIONS-PROGRAMMES	110
A3. MATHEMATIK ZUR FLUGBAHN-BERECHNUNG	121
A4. MATHEMATIK ZUR AUSWERTUNG DER WINKEL-AUFSTREUUNGS- MESSUNGEN	131
A5. KAMMERLÄNGE IN G/CM^2	136
A6. TEST-EINHEIT GM/78	137
LITERATURVERZEICHNIS	146

EINLEITUNG

Die Untersuchung von Nukleon-Antinukleonsystemen ($N\bar{N}$) bei niedrigen Energien bietet Informationen für die Kern- sowie für die Elementarteilchenphysik. In der Kernphysik beschreibt man die Nukleon-Antinukleon Wechselwirkung mit Hilfe von "Ein Boson Austauschpotentialen". Im Rahmen dieser Beschreibung werden eine Reihe langlebiger und resonanter Zustände vorhergesagt. Da sich das $N\bar{N}$ -Potential durch eine G-Paritätstransformation in ein NN -Potential überführen läßt, kann man über die $N\bar{N}$ -Studien auch Aussagen über das NN -System machen.

Die Beschreibung der $N\bar{N}$ -Systeme in der Elementarteilchenphysik erfolgt mit dem Quarkmodell. Hier werden die für die Wechselwirkung verantwortlichen Austauscheteilchen durch komplexe, bisher in der Natur noch nicht beobachtete Quarkgebilde (Diquark und Antidiquark) beschrieben. Solche Gebilde können auch als Quarkmoleküle aufgefaßt werden. In beiden Beschreibungen besitzen die ausgetauschten Teilchen die Quantenzahl eines Mesons und werden wegen ihrer langen Lebensdauer bzw. ihrer komplexen Quarkstruktur auch als "Exotische Mesonen" bezeichnet.

Gebundene Zustände im Antiproton-Proton-System ($\bar{p}p$) lassen sich mit folgender Meßmethode untersuchen: ¹⁾

Die \bar{p} werden in einem flüssigen Wasserstofftarget gestoppt und bilden ein quasi atomares $\bar{p}p$ -System (Protonium). Von diesem System können die quasi Kernzustände (Barionium) mit einer Wahrscheinlichkeit von $< 10^{-2}$ durch einen elektromagnetischen Übergang bevölkert werden. ²⁾

Um diese schwachen Übergänge zu detektieren, müssen saubere Experimentierbedingungen geschaffen werden. Dies versucht man auf zwei Wegen zu erreichen:

1. Mit Hilfe eines Vieldraht-Proportional-Kammersystems soll die Trajektorie der einlaufenden \bar{p} rekonstruiert und somit sämtliche \bar{p} , die nicht innerhalb des Targets stoppen, unterdrückt werden.
2. Durch gezieltes Auswählen bestimmter Zerfallskanäle mit einem "4 π -Blei-Sandwich-Szintillations-Zähler" ³⁾ läßt sich das

Signal- zu Untergrund-Verhältnis verbessern. Der Untergrund stammt vom Zerfall der neutralen Pionen aus der Annihilation.

In der vorliegenden Arbeit wird die Konstruktion eines Vieldraht-Proportional-Kammersystem (MWPC) beschrieben, mit dessen Hilfe die Flugbahnen der einlaufenden \bar{p} bestimmt werden können. Die Erstellung eines "Off-Line-Programmes" zur Rekonstruktion der \bar{p} -Trajektorien aus den Kammerdaten wird diskutiert. Außerdem mußte eine Testeinheit zur Überprüfung der Ausleseelektronik gebaut werden.

Im 2. Kapitel werden die Konstruktion der Vieldraht-Proportionalkammern, sowie die beim Betrieb der Kammern aufgetretenen Probleme beschrieben.

Die Testmessungen mit radioaktiven Quellen werden im 3. Kapitel behandelt.

Im 4. Kapitel wird die Ausleseelektronik, sowie der Anschluß der Kammer an die Ausleseelektronik beschrieben.

Das 5. Kapitel ist dem Einsatz des Kammersystems am \bar{p} -Strahl gewidmet.

Die Auswertung im 6. Kapitel ist in die Untersuchung der Kammereigenschaften und in die Untersuchung des \bar{p} -Strahls eingeteilt.

Das vorletzte Kapitel behandelt die Genauigkeit, mit der die Flugbahnen rekonstruiert werden können.

Die Zusammenfassung am Schluß vermittelt nochmals einen Überblick über die Arbeit und wirft gleichzeitig auch einen Blick in die Zukunft.

Die zum tieferen Verständnis mancher Themen notwendigen mathematischen Abhandlungen wurden in den Anhang verlegt. Dort findet man auch das Rechnerprogramm zur Rekonstruktion der Flugbahnen und die dazugehörigen Erläuterungen.

Eine kurze Beschreibung der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Testeinheit GM/78 zum Überprüfen der Kammer-Ausleseelektronik befindet sich ebenfalls im Anhang.⁴⁾

1. DAS EXPERIMENT

1.1 Der Strahl

Das Experiment wird am K 23-Strahl des CERN-Protonensynchrotrons (PS) durchgeführt.

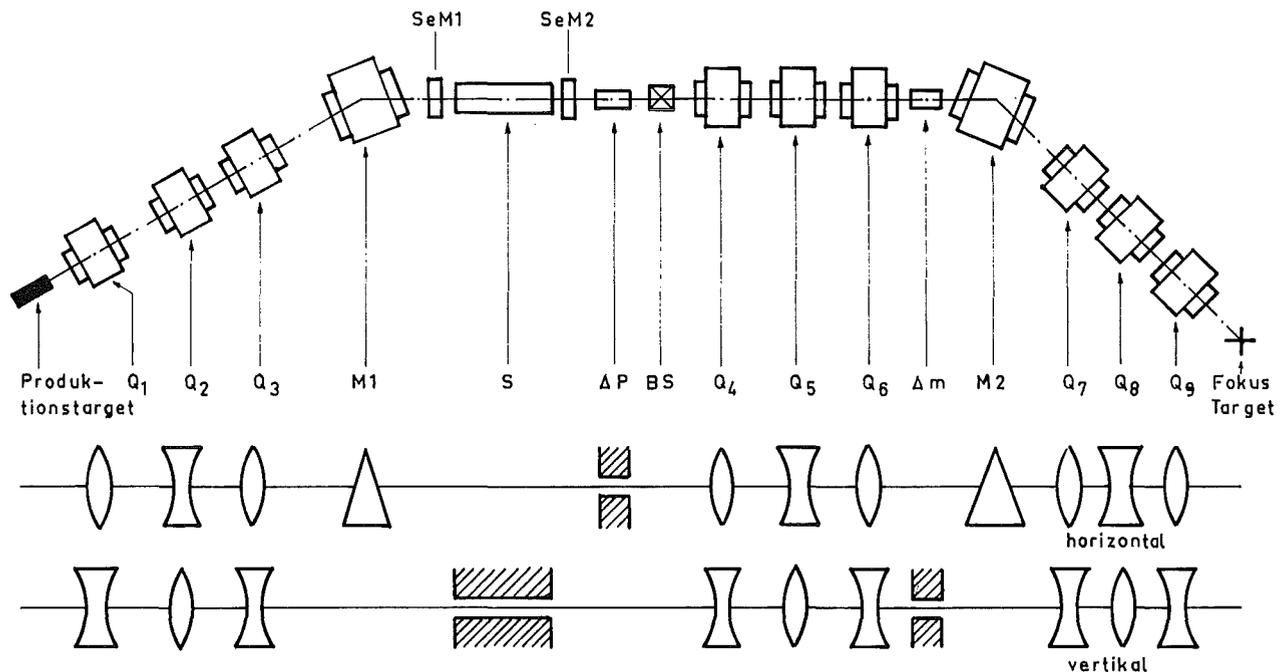


Abb. 1: Schematische Darstellung des K 23-Strahles

Die im PS auf 26 GeV beschleunigten Protonen (p) werden aus dem Ring ausgelenkt und auf ein 25 mm langes Wolframtarget (Produktionstarget) geschossen.

Unter den vielen Reaktionsprodukten befinden sich u.a. \bar{p} , π^\pm , k^\pm -Teilchen, die als Sekundärstrahlen verwendet werden können. Dazu separiert ein erster Ablenkmagnet (M1) Teilchen gleicher Ladung und gleichen Impulses ab. Die Impulsschärfe läßt sich durch einen vertikalen Schlitz (Δp) festlegen. Um die unterschiedlichen Teilchen zu trennen, wird in einem elektrostatischen Separator der Sekundärstrahl nach Massen zerlegt und in einem nachfolgenden horizontalen Schlitz (Δm) die gewünschte Masse ausgewählt.

Ein zweiter Ablenkmagnet (M2) säubert den Strahl von Untergrundreaktionsprodukten, die am Impuls- und Massenschlitz erzeugt werden. Dennoch enthält der 600 MeV/c Antiproton-Strahl 400 mal mehr Pionen als gestoppte Antiprotonen. Deshalb muß eine endgültige Trennung von Pionen und Antiprotonen im Zähler-Teleskop und durch eine Flugzeitmessung (TOF) erfolgen. Die Quadrupole (Q) haben die Aufgabe, das Produktionstarget auf den Impuls- und Massenschlitz und diese auf das Target abzubilden.

1.2 Der experimentelle Aufbau

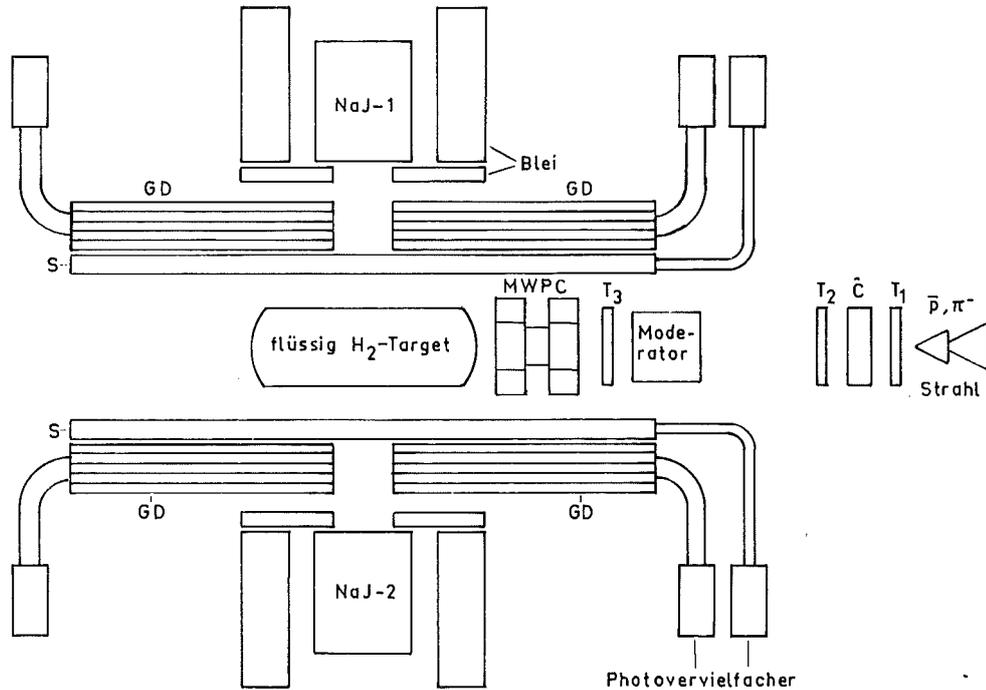


Abb. 2: Aufbau des Experimentes

Die Plastiksintillationszähler T1, T2 und T3 bilden zusammen mit dem Cerenkovzähler das Teleskop. Die Flugzeit (Time of Flight = TOF) wird zwischen dem Szintillationszähler T0, der sich beim Massenschlitz befindet und dem Teleskop gemessen.

Der Trigger für einlaufende \bar{p} ist somit folgendermaßen aufgebaut:

$$\bar{p}: T1 * T2 * T3 * \bar{C} * TOF$$

wobei für T1, T2 und T3 eine niedrigere Schwelle gesetzt wird.

Um die Teilchen in einem 25 cm langen H_2 -Target zu stoppen, wird Graphit als Moderator eingefügt.

Der \bar{p} -Stopp-Trigger ist definiert durch:

$$\bar{p}_{\text{Stopp}}: T1 * T2 * T3 * \bar{C} * \text{TOF}$$

hier besitzt T3 eine hohe Schwelle.

Der vom \bar{p} -Stopp-Trigger definierte Strahl besteht zu etwa 99,999 % aus \bar{p} .

Zwischen dem Target und T3 sind die MWPCs installiert, sie können somit auch als letzter dünner Zähler mit in den Trigger einbezogen werden (siehe Kapitel A5).

Das Target ist von 30 zylinderförmig zur Strahlachse angeordneten, 1 m langen, Szintillatorstreifen (S) umgeben. Jeder dieser Szintillatorstreifen ist über einen Lichtleiter mit einem Photomultiplier verbunden und dient zum Nachweis von geladenen Teilchen.

Um diesen Zähler S ist noch ein, aus 60 Elementen bestehender Gamma-Detektor (GD) installiert. Es handelt sich hierbei um einen Sandwich-Zähler, bei dem jedes Zählerelement aus 10 Schichten Szintillator und 9 Schichten Blei als Konversionsmaterial aufgebaut ist.

Mit diesem Detektorsystem S, GD können die Multiplizitäten der geladenen und neutralen Annihilationsteilchen bestimmt werden.

Der Gammadetektor besitzt links und rechts ein rundes Fenster von 15 cm Durchmesser (Abb. 2), durch welches die NaJ-Detektoren das Target sehen. Diese NaJ-Detektoren messen mit hoher Nachweiswahrscheinlichkeit das Energiespektrum von Gammas zwischen 0 und 1000 MeV. Sie haben eine Energieauflösung von etwa 8 % bei 130 MeV. Um systematische Meßfehler auszuschließen, werden 2 NaJs verwendet.

2. KONSTRUKTION UND INBETRIEBNAHME DER VIELDRAHT-PROPORTIONALKAMMERN

2.1 Entwurf der Kammern

Um aus den anfallenden Kammerdaten die Teilchenflugbahnen genau rekonstruieren zu können, darf sich zwischen Kammer und Target keine zusätzliche Materie befinden. Deshalb mußte ein Kammer-System entworfen werden, das innerhalb des Gammadetektors, direkt vor dem Target, installiert werden konnte. Das bedeutete, daß das komplette Kammer-System in einen Zylinder mit 26 cm Durchmesser eingepaßt werden mußte.

Damit die effektive Detektorfläche der Proportionalkammern dennoch möglichst groß wurde, mußte für diese eine dem Kreis gut angenäherte Form gewählt werden. Wir entschieden uns deshalb für das Hexagon als Form für die Kammerrahmen (Abb. 5), was zudem den Vorteil mit sich brachte, daß alle Auslesedrähte der gegeneinander verdrehten Ebenen die gleiche Länge und somit die gleiche Kapazität erhielten.

Zwei identische Vieldraht-Proportionalkammern (MWPC), mit jeweils 3 um 60 Grad gegeneinander gedrehten Ausleseebenen, sollten das Kammer-System zur Flugbahnbestimmung bilden (Abb. 8 S. 13).

Als Material für die Kammerrahmen wurde Stesalit 4411 ^{*)} verwendet. Da die Massenbelegung innerhalb der Tonne so gering wie möglich sein mußte, wurden die Stesalitrahmen nur 5 mm stark und 22 mm breit gemacht, bei einer inneren Kantenlänge von 80 mm.

Somit hätte das Spannen von Hochspannungsdrähten eine mechanische Überbeanspruchung der Kammerrahmen zur Folge gehabt (100 µm-Drähte werden üblicherweise mit 150 p gespannt), deshalb wurden die Hochspannungsebenen aus 10 µm starker Aluminiumfolie aufgebaut. Damit erreichten wir zudem eine homogenere Massenbelegung unseres Detektors.

^{*)} Die Rahmen wurden bei der Fa. Stesalit AG in Zullwill/Solothurn in der Schweiz hergestellt.

Das Verwenden von Aluminiumfolie für die Hochspannungsebenen hatte zur Folge, daß eine Kammer in drei physikalisch getrennte Gasvolumina unterteilt wird. Damit sich aber beim Durchspülen der Kammern mit Gas, auf Grund von Druckunterschieden, die äußeren Hochspannungsebenen nicht wölben, wurde links und rechts noch ein durch eine Klarsicht-Mylarfolie begrenzter Gasraum angebracht. Damit besitzt jede Kammer 5 parallel durchflossene Gasräume.

Da das Kammersystem eine hohe Ortsauflösung besitzen sollte, wurden die Auslesedrähte in einem Abstand von 1 mm gespannt. Um die durch die erhöhte Drahtkapazität bedingte Abnahme der Signalhöhe zu kompensieren, wurde das elektrische Feld durch die Wahl einer Gapweite von 5 mm und einem Radius der Auslesedrähte von 5 μm erhöht.

Aus Platzmangel konnte die Signalverarbeitungselektronik nicht direkt auf die MWPCs montiert werden, sie mußte deshalb über Flachbandkabel mit den Auslese-Ebenen verbunden werden. Die Leiterplatten zum Anlöten und Durchführen der Auslesedrähte mußten so klein gemacht werden, daß nur 4 Flachbandkabelstecker darauf Platz fanden (Abb. 3). Um alle Signaldrähte mit der Ausleseelektronik zu verbinden, mußten 2 Leiterplatten pro Auslese-Ebene verwendet werden. Die Drähte wurden dabei alternierend auf die obere oder untere Platine geführt. Die Abb. 5 zeigt den Rahmen einer Ausleseebene mit bereits aufgeklebten Leiterplatten.

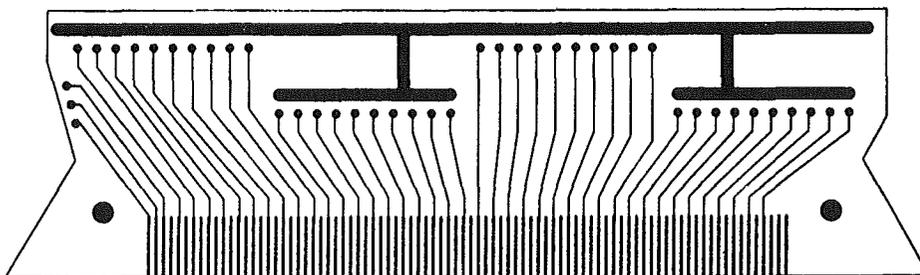


Abb. 3: Leiterplatte zum Anlöten und Durchführen der Auslesedrähte
M.: 1;1

2.2 Montage des Vieldraht-Proportionalkammersystems

Die MWPCs wurden in einem staubfreien Raum, der uns freundlicherweise vom CERN im " Atelier Chambre à Fils " zur Verfügung gestellt wurde, zusammengebaut.

Als erstes wurden die Leiterplatten (Abb. 3) auf die dafür vorgesehenen Kammerrahmen aufgeklebt (Abb. 5). Dabei mußte besonders darauf geachtet werden, daß die untere und obere Platine nicht seitlich gegeneinander verschoben wurden. Bei der Zentrierung der Leiterplatten erreichten wir eine Genauigkeit von etwa 200 μm . Danach wurden die Hilfselektroden (Guard Strips), 0,2 mm starke Messingleisten, eingeklebt und mit den Anschlüssen versehen (siehe auch S. 49).

Die 10 μm -Drähte wurden im 1 mm Abstand auf einem Spezialwebstuhl mit 10 p gespannt und danach auf Transferrahmen übertragen. Anschließend wurden die 10 μm -Drähte von den Transferrahmen herunter auf die Kammerrahmen gelötet. Das Anlöten der Drähte auf die 0,5 mm breiten Lötbahnen der Leiterplatten wurde unter einem Stercomikroskop durchgeführt. Dadurch erreichten wir in der Parallelität der Drähte eine Genauigkeit von etwa $\pm 5 \mu\text{m}$. Dabei konnten auch eventuell vorhandene Verschiebungen der unteren Leiterplatte gegenüber der oberen ausgeglichen werden.

Um die Feldverzerrungen am Rand der Ausleseebenen zu verkleinern, wurden die Durchmesser der Randdrähte nach außen hin vergrößert. Die Abstufung betrug 20 μm , 30 μm , 50 μm .

Die 10 μm Aluminiumfolie wurde zuerst mittels Vakuum über eine runde, sehr plane Platte gespannt (Abb. 4) und anschließend die Rahmen aufgeklebt.

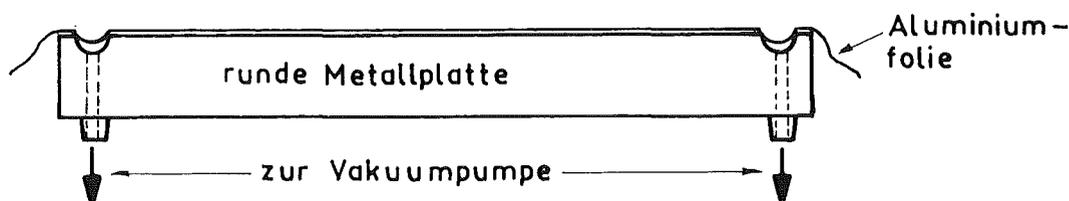


Abb.4: Querschnitt durch die Spannvorrichtung für Aluminiumfolien

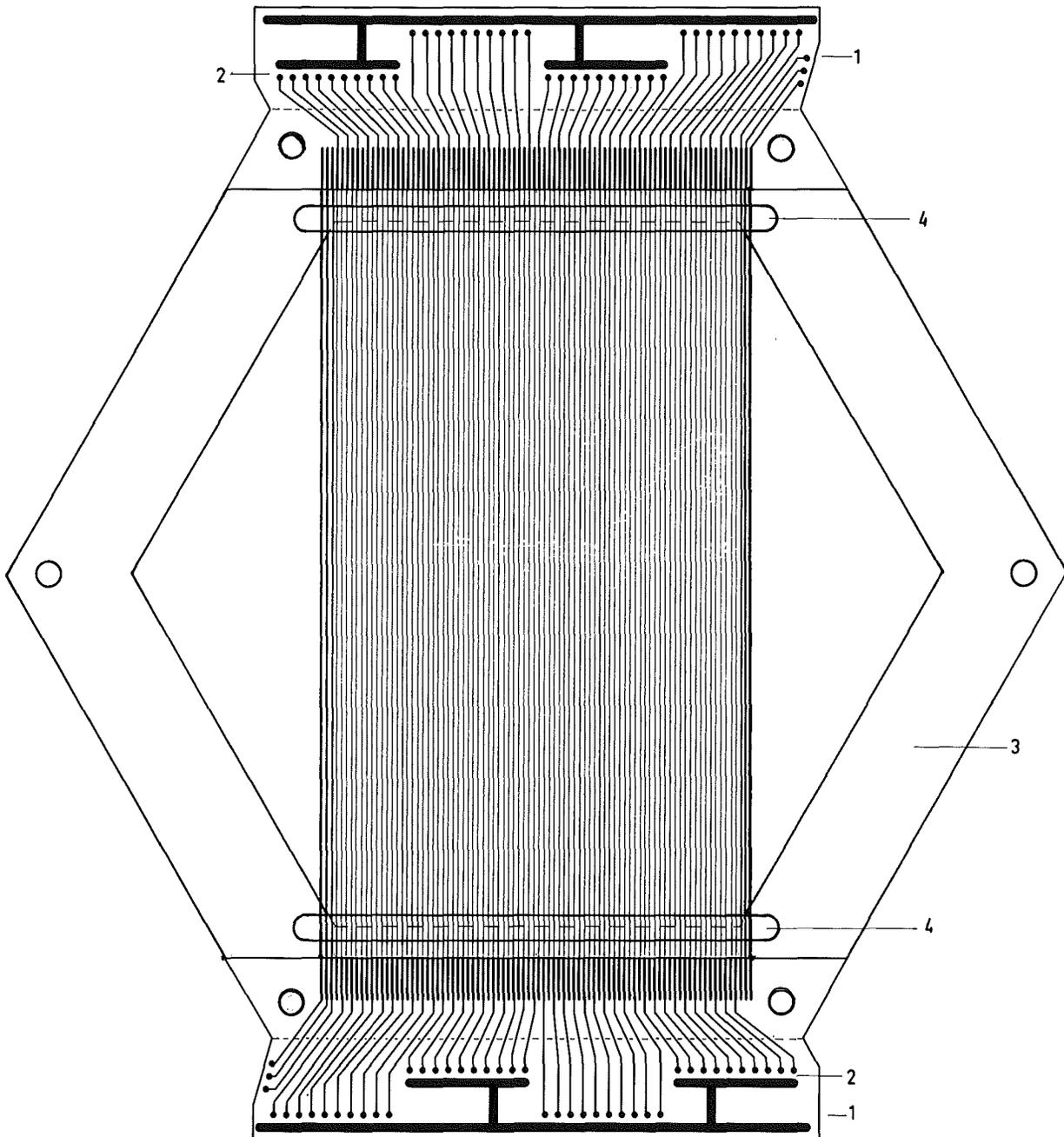


Abb. 5: Kammerrahmen mit aufgeklebter Leiterplatte und bereits gespannten Drähten

- 1 : Leiterplatte
- 2 : Lötungen für Flachbandkabelstecker
- 3 : Stesalit-Kammerrahmen
- 4 : Hilfselektrode (Guard-Strip)

Zum Spannen der Mylarfolien wurden die entsprechenden Rahmen mit beidseitig klebenden Klebeband beklebt und anschließend die Folie darüberspannt. Danach wurde die Mylarfolie mit einem Föhn erhitzt, nach dem Abkühlen war die Folie straff gespannt.

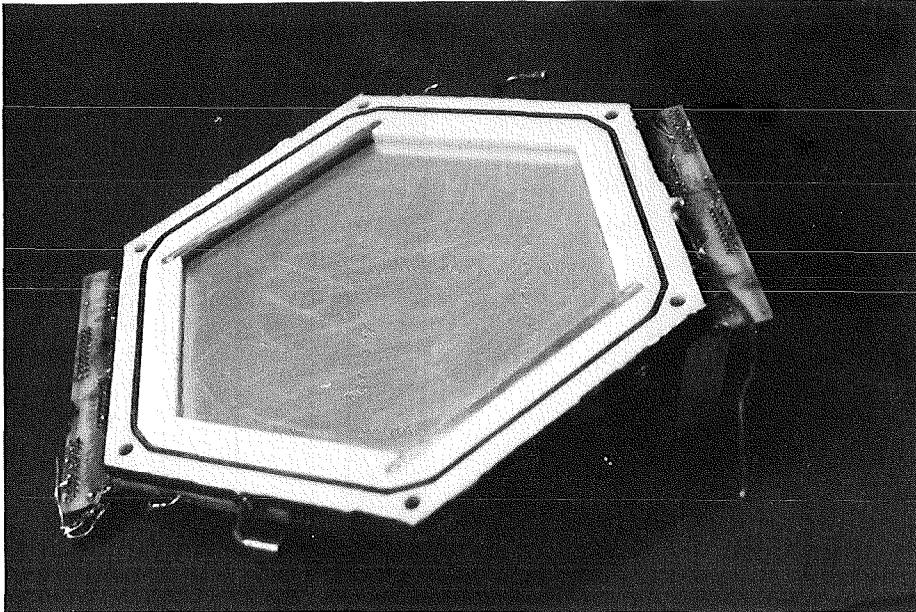


Abb. 6 : Photographie eines Kammerrahmens mit aufgespannter Aluminiumfolie (Hochspannungs-Ebene)

Nachdem alle Drähte angelötet und alle Folien gespannt waren, wurden sämtliche Ebenen in einer staubfreien Kammer mit Alkohol gereinigt und nach dem Trocknen zusammengebaut.

Zum Abdichten der Gasräume, wurden zwischen die einzelnen Rahmen in die dafür vorgesehenen Nuten Gummi-O-Ringe eingelegt und die Rahmen selbst noch zusätzlich mit Silikon-Kautschuk bestrichen.

Beim Zusammenbau der Kammern stellten wir fest, daß sich die Stesalitrahmen beim Festziehen der 6 Imbusschrauben etwas verbiegen. Deshalb ließen wir noch 10 mm starke Stützrahmen aus Aluminium anfertigen.

Abb. 7 zeigt die beiden zusammenmontierten Kammern (Kammersystem) in der Seitenansicht.

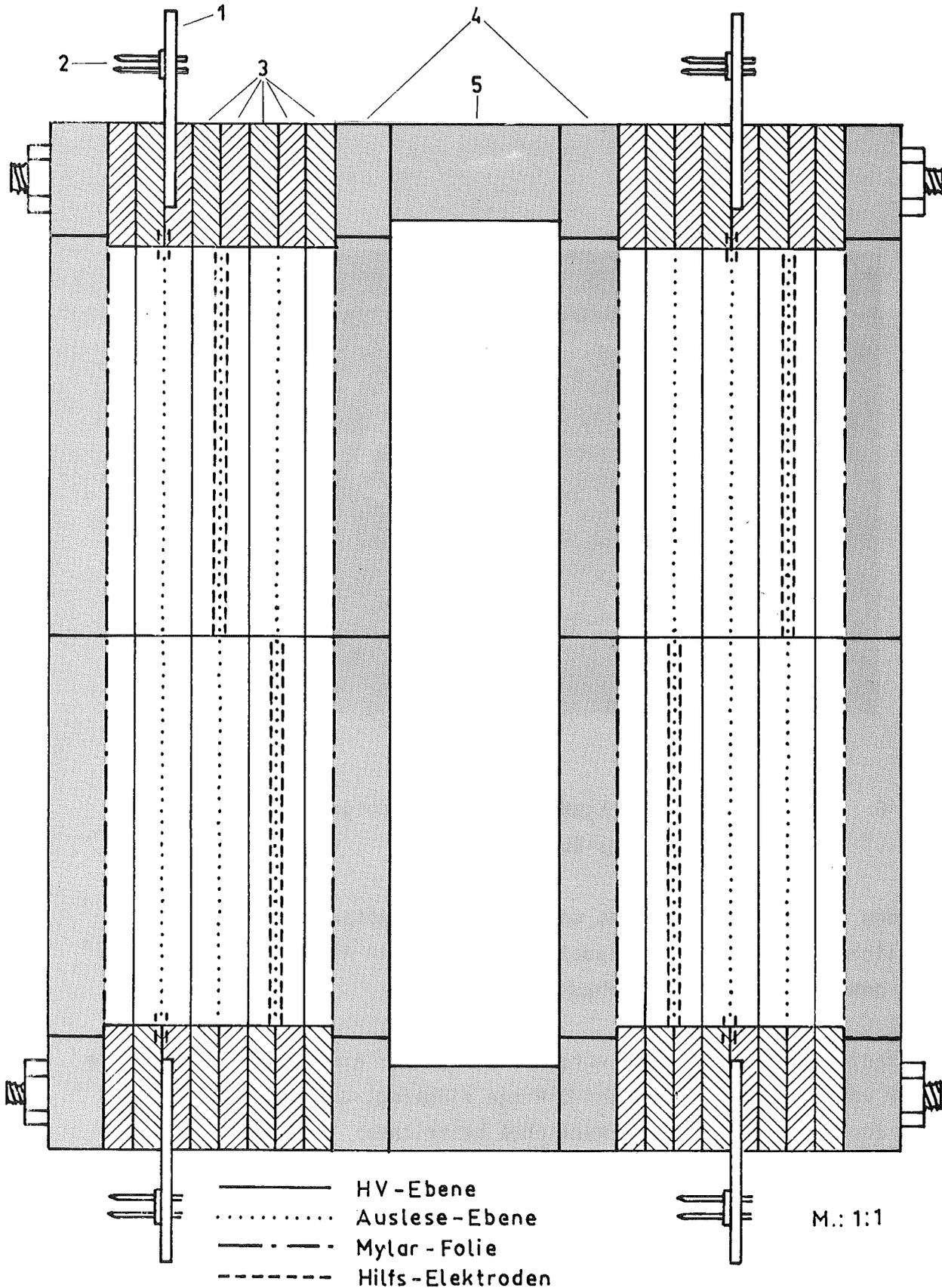


Abb.7: Seitenansicht des Kammersystems (Längsschnitt)

- 1: Leiterplatte; 2: Pins der Flachband-Kabelstecker; 3: Stesalit-Kammerrahmen;
- 4: Aluminium-Stützrahmen; 5: Aluminium-Abstandshalter

Abb. 8 : Räumliche Anordnung der Kammern
und der Ausleseebenen

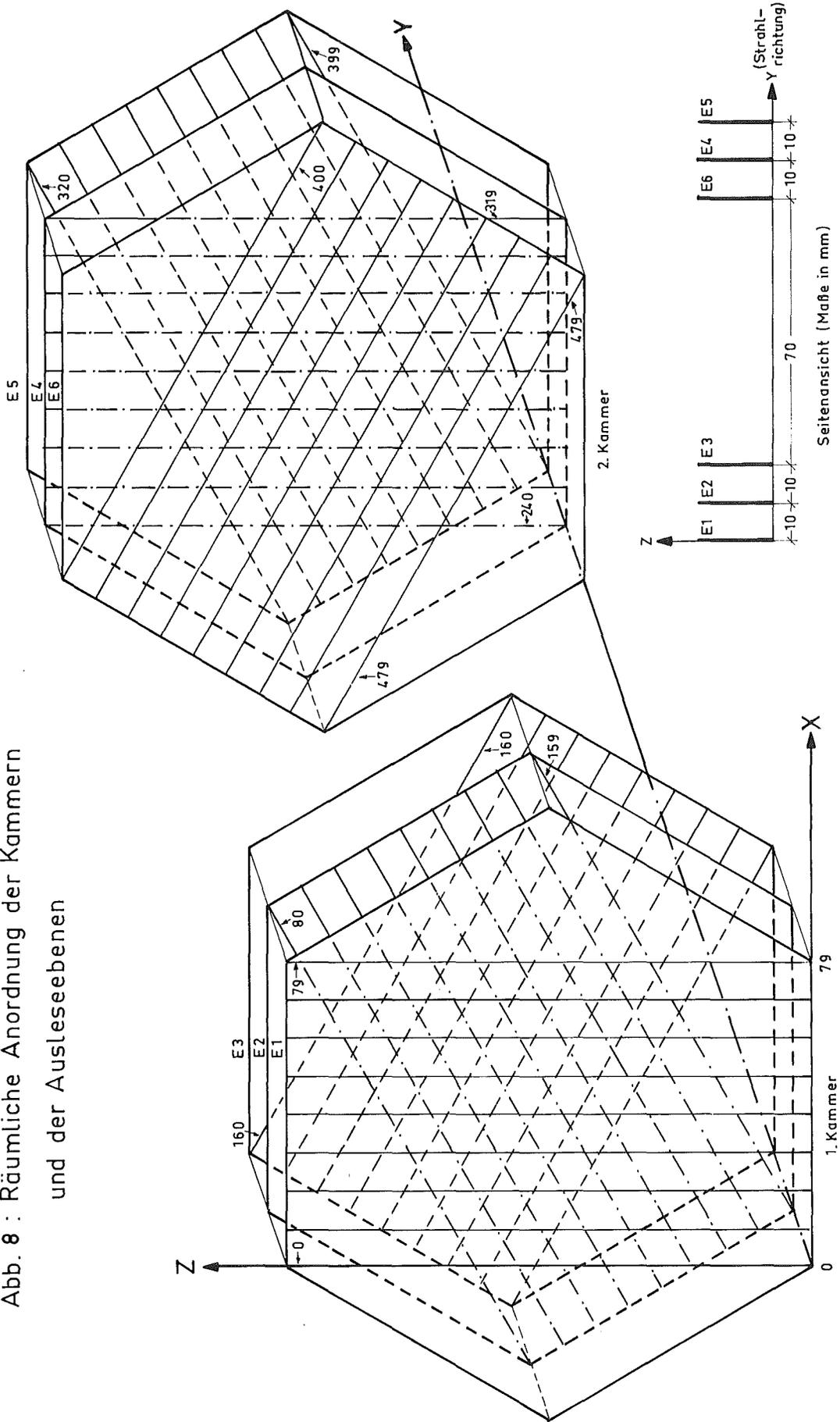


Abb. 8 zeigt das zur Flugbahnbeschreibung verwendete Koordinatensystem, die räumliche Anordnung der Ausleseebenen in dem Kammer-system, sowie die Numerierung der Ausleseebenen (E1...E6) und der Signaldrähte (0.....479).

Die Zuleitungen für die Hochspannungsebenen wurden mit Hilfe von elektrisch leitendem Kleber (Araldit "E-SOLDER") an der Aluminiumfolie angeschlossen. Die Anschlüsse der Hochspannungsebenen und Hilfselektroden wurden in einem aus Epoxydharz gefrästen Verteilerkästchen zusammengeführt, an dessen Frontseite 2 Hochspannungsdurchführungen (Suhner 22 SHV50-0-2/133 50 Ω) angebracht waren. An der einen Durchführung wird das Hochspannungsversorgungskabel für die Aluminiumfolien und an der anderen das Kabel für die Guardspannung angeschlossen.

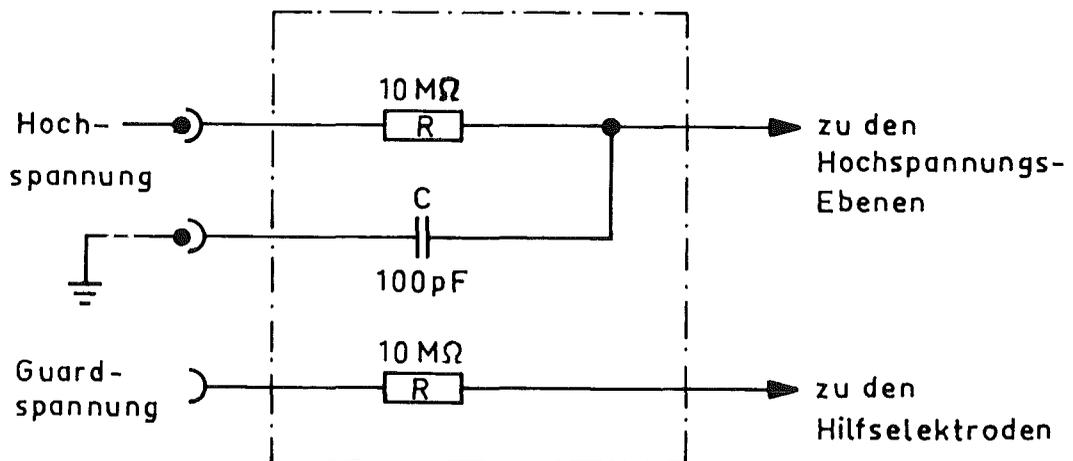


Abb. 9: Verdrahtung des Hochspannungsverteilerkästchens

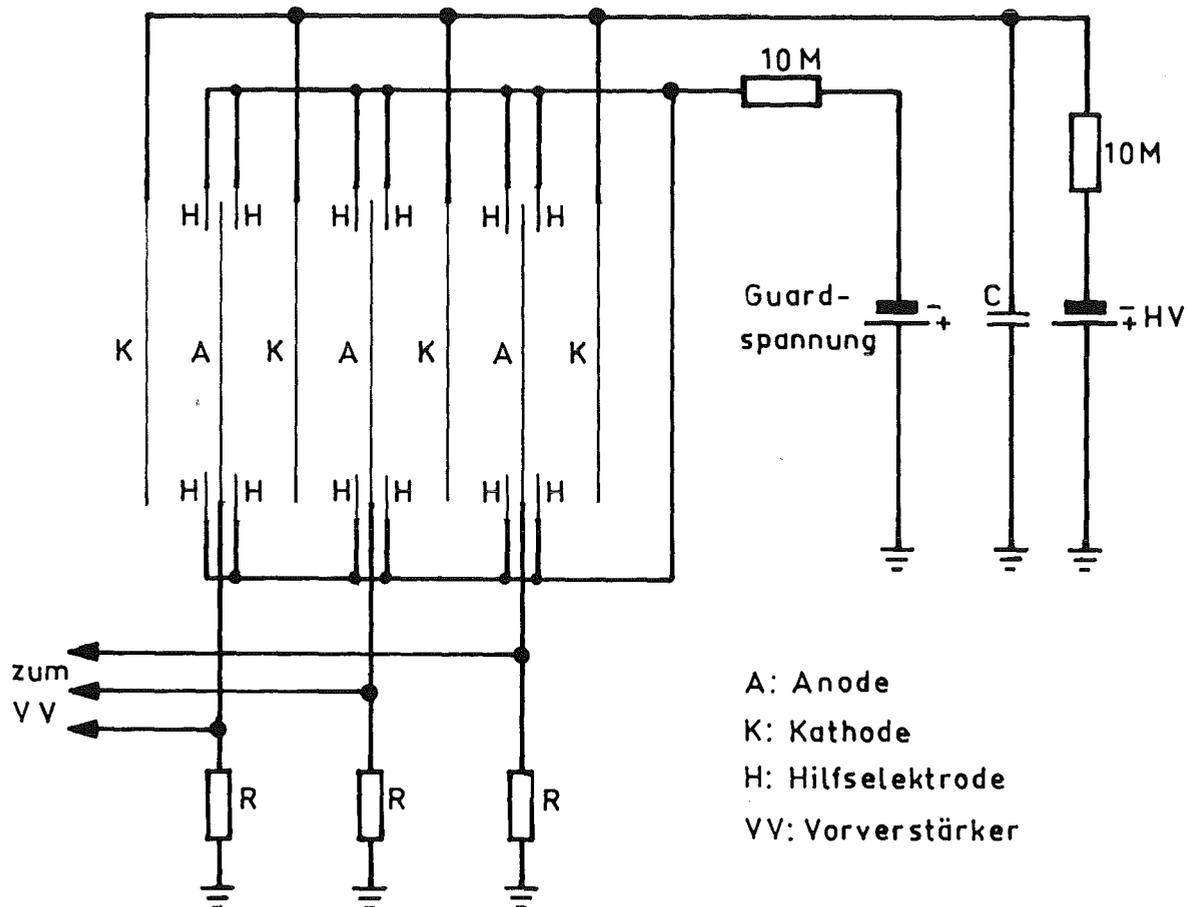


Abb. 10: Anschlußschema der MWPC

Der 100 pF Kondensator (C) dient der Sicherung gegen Hochspannungsspitzen und zum Nachladen der HV-Ebenen. Die beiden 10 MΩ Widerstände sollen im Falle eines Kurzschlusses (z.B. Hochspannungsüberschlag) den Strom begrenzen.

Zur Versorgung der 5 Gasräume mit dem Kammergas wurde zuerst aus T-Stücken und Kunststoffschläuchen der in Abb.11 dargestellte Gasverteiler aufgebaut. Beim Messen des Gasdurchflusses durch die einzelnen Teilvolumina stellte es sich heraus, daß drei davon sehr unterschiedlich und zwei überhaupt nicht vom Gas durchflossen wurden. Deshalb konstruierten wir einen Gasverteiler mit relativ großem gemeinsamen Gasraum (Abb. 12). Dieser Gasverteiler garantiert auch eine gute gleichmäßige Durchflutung sämtlicher Teilvolumina. Ein solches Exemplar wurde auch für die Gasrückführung verwendet.

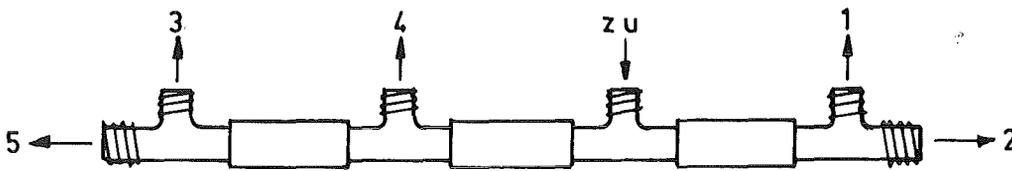


Abb. 11: Gasverteiler, sorgt für stark unterschiedlichen Gasdurchfluß

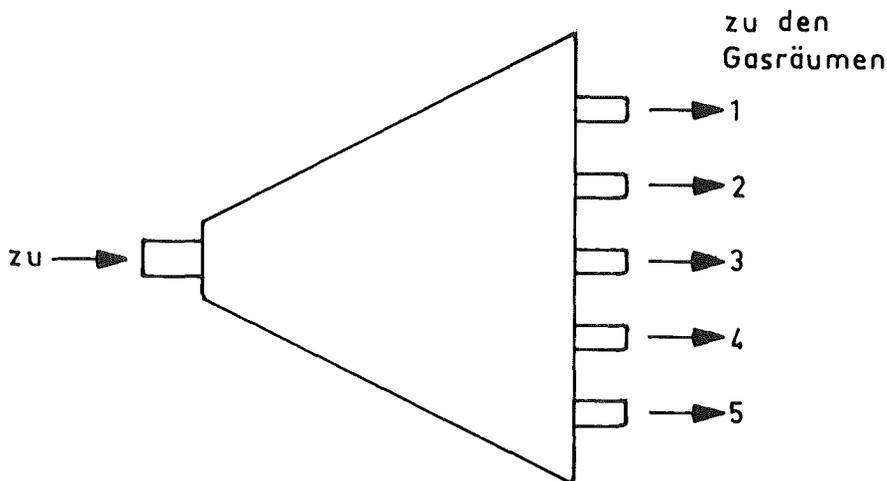


Abb. 12: Besserer Gasverteiler, sorgt für einen gleichmäßigen Gasdurchfluß in den einzelnen Teilvolumina

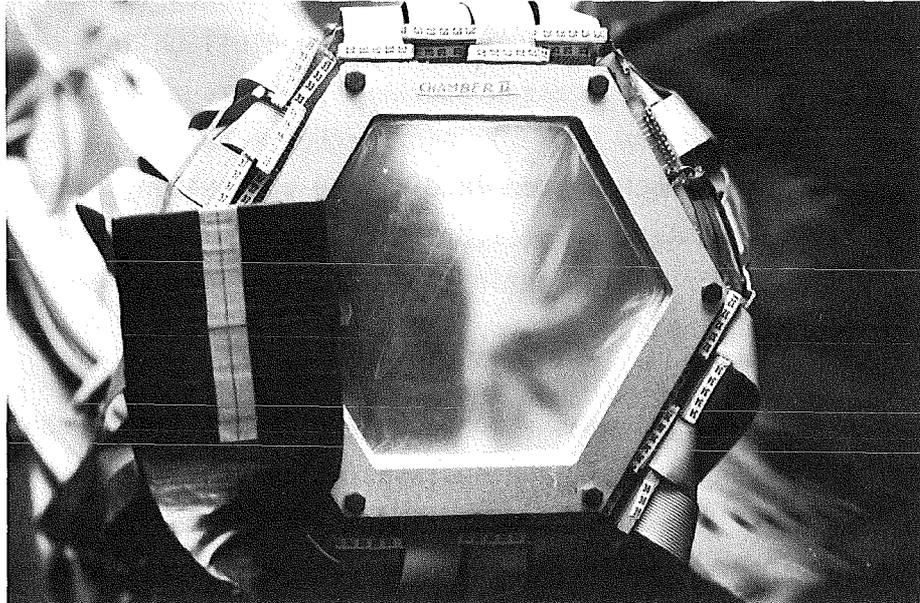


Abb. 13 : Frontansicht der fertig montierten Kammer mit
angeschlossenen Flachbandkabeln
Vorne links im Bild sieht man den Szintillator-Zähler T3,
zur Aufnahme dieses Bildes wurde er etwas zur Seite
geschoben.

2.3 Aufgetretene Probleme beim Betreiben der Kammern

Zum Betreiben von Proportional- und Driftkammern können verschiedene Gasgemische verwendet werden ⁵⁾. Der Hauptbestandteil üblicher Kammergase ist stets Argon, wegen dessen starker Fluoreszenz müssen noch Löschgase wie CO₂ oder Isobutan (C₄H₁₀) hinzugefügt werden.

Um die Gasverstärkung noch weiter in die Höhe zu treiben, können noch zusätzlich elektronegative Gase (z.B. Freon) beigemischt werden, doch verkleinert sich dadurch die empfindliche Zone um den Auslesedraht und die Nachweiswahrscheinlichkeit, vor allem für minimalionisierende Teilchen. ⁵⁾

Isobutan ist als Löschgas am besten geeignet, es hat jedoch den Nachteil, daß es seine Anregungsenergie durch Dissoziation abgibt. Die so entstandenen Radikale polymerisieren und bilden auf der Kathode einen isolierenden Belag. Die ankommenden positiven Ionen werden dann nicht mehr neutralisiert und bilden ein so hohes Dipolfeld, daß Elektronen aus der Metalloberfläche herausgerissen werden, was zu einer Dauerentladung führt, die auch noch anhält, wenn man den primärionisierenden Strahl entfernt.

Durch Zusätze von Methylal ((OCH₃)₂CH₂) wird die Polymerisation verhindert. Da Methylal bei Zimmertemperatur flüssig ist, wird die Beimischung durch Blubbern von Argon durch Methylal erreicht. Um einen stabilen Dampfdruck zu erreichen, was eine konstante beigemischte Menge Methylal bedeutet, muß eine bestimmte Temperatur garantiert werden. Deshalb wird Methylal in einem Kühlschranks konstant auf +3°C gehalten.

Da uns bei den ersten Testmessungen in Karlsruhe eine solche Gasmischanlage nicht zur Verfügung stand und dieses Gasgemisch zudem feuergefährlich ist, versuchten wir unsere Kammern mit CO₂ als Löschgas zu betreiben.

Wir verwendeten Gas in verschiedenen Mischungsverhältnissen, z.B. Ar : CO₂ = 70 : 30 ; 85 : 15 ;

2.3.1 Der erste Kammertest mit Argon-CO₂

Die Luft enthält Feuchtigkeit und Spuren von elektronegativen Gasen, deshalb wurde die Kammer vor dem ersten Bestrahlen mit einer radioaktiven Quelle mehrere Stunden mit dem Gasgemisch (Ar-CO₂) durchspült.

Außerdem wurde gleichzeitig an die Hochspannungsebene eine positive Hochspannung zur Überwindung der Alterungsphase der Kammer angelegt.

Als Alterung bezeichnet man die Instabilitäten der Zählrate und der Pulshöhe, in der ersten Zeit nach der Inbetriebnahme. Diese werden verursacht durch die beim Fertigen aufgetretenen Kanten und Spitzen auf den Drähten, auch durch eventuell noch vorhandene Staubpartikel in der Kammer und durch die sogenannten Exoelektronen (Kramer-Effekt), die aus einer frischen Metalloberfläche austreten. Diese Elektronen erhalten die Energie zum Verlassen des Atomverbandes aus der Umsetzung auf der Oberfläche erhabener Atome in den Gitterverband des Metalles. ⁶⁾

Während die Kammer mit einer Fe-55 Quelle bestahlt wurde, legten wir einen Auslesedraht über einen 1 k Ω Widerstand auf Masse und gaben das Signal dieses Drahtes auf einen ladungsempfindlichen Vorverstärker. ⁷⁾

Das verstärkte Signal wurde am Oszillographen angeschaut. All die anderen Auslesedrähte waren ebenfalls geerdet.

Dabei machten wir folgende Feststellungen:

Verbindet man die Auslesedrähte über 200 Ω Widerstände mit der Masse, so kann die negative Spannung an der Hochspannungsebene bis auf 5 kV erhöht werden, ohne daß man die erwarteten negativen Kammerpulse der Fe - 55 - Quelle sieht. Auf dem Signaldraht erhält man überwiegend positive Pulse mit sehr großer Amplitude und Länge. Diese Pulse wurden auf dem ausgelesenen Signaldraht durch Hochspannungsüberschläge zu den Nachbardrähten induziert. Diese Hochspannungsüberschläge machten sich auch akustisch durch geräuschvolles Prasseln bemerkbar.

Da man wegen den Aluminiumfolien die Überschläge nicht direkt beobachten konnte, machten wir von der Kammer bei maximal möglicher negativer Hochspannung und ohne Quelle im absolut verdunkelten Raum Infrarotaufnahmen.

Auf diesen Photographien sieht man deutlich am linken und rechten Rand der angeschlossenen Ausleseebene zwei blaue Streifen parallel zu den Auslesedrähten (blau entspricht der infraroten Wellenlänge), was auf Gasentladungen und somit auf besonders hohe elektrische Felder bei den äußeren Auslesedrähten schließen läßt.

Testkammer:

Um diese Phänomene besser studieren zu können, bauten wir eine Testkammer auf (Abb. 14), in dem wir eine Hochspannungsebene der Kammer auf den Tisch legten, obendrauf eine der Ausleseebenen und das Ganze mit einem Hochspannungsnetz abdeckten.

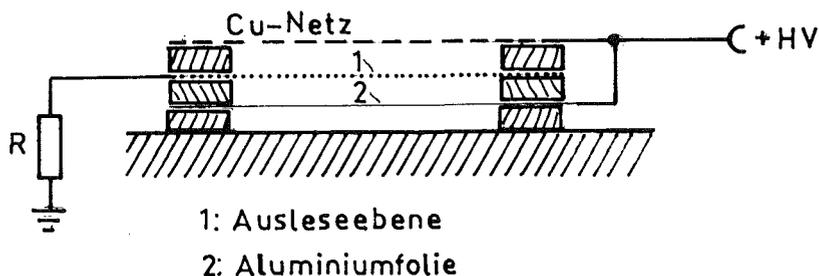


Abb. 14: Testkammer

Um die Stellen mit den größten Feldgradienten ohne radioaktive Quelle sichtbar zu machen, nutzten wir die Koronaentladung aus. Die Koronaentladung tritt auf, wenn die elektrische Feldstärke, z.B. an metallischen Spitzen so groß wird, daß sie das Gas ionisiert und es so zu einer Gasentladung kommt. Liegt dieser Gegenstand mit dem sehr kleinen Krümmungsradius auf negativem Potential, so setzt die Gasentladung bei niedrigeren Spannungen ein, als bei positivem Potential. Denn bei einem negativen Potential werden die schweren positiven Ionen im starken Feld beschleunigt und ionisieren. Deshalb legten wir die Hochspannungsebenen auf positives- und die Auslese- und Randdrähte auf Massepotential. Dann wurde der Raum verdunkelt und die Spannung hochgefahren.

Beobachtung:

Bei einer positiven Hochspannung von über 5 kV leuchtete links und rechts jeweils der letzte 10 μ -Auslesedraht auf seiner ganzen Länge. Vereinzelt leuchtende Punkte in der Mitte der Kammerebene rührten von Verschmutzungen her und ließen sich durch Reinigen der Drähte bzw. durch Anlegen von positiver Spannung (4 kV) über mehrere Stunden an die Hochspannungsebene, beseitigen. Mit Spannung gleicher Polarität wie die Hochspannung auf den Randdrähten, setzte die Koronaentladung erst bei einer höheren Spannung ein. Diese Beobachtung bestätigte die bereits auf Grund der Infrarotaufnahmen gemachte Erkenntnis.

Erklärung:

An den äußeren 10 μ -Drähten der Ausleseebene ist der Gradient des elektrischen Feldes besonders hoch, bedingt zum einen durch die Unsymmetrie des Randfeldes selbst, sowie durch den nicht parallel zu den Drähten verlaufende Kammerrahmen (Dielektrika).

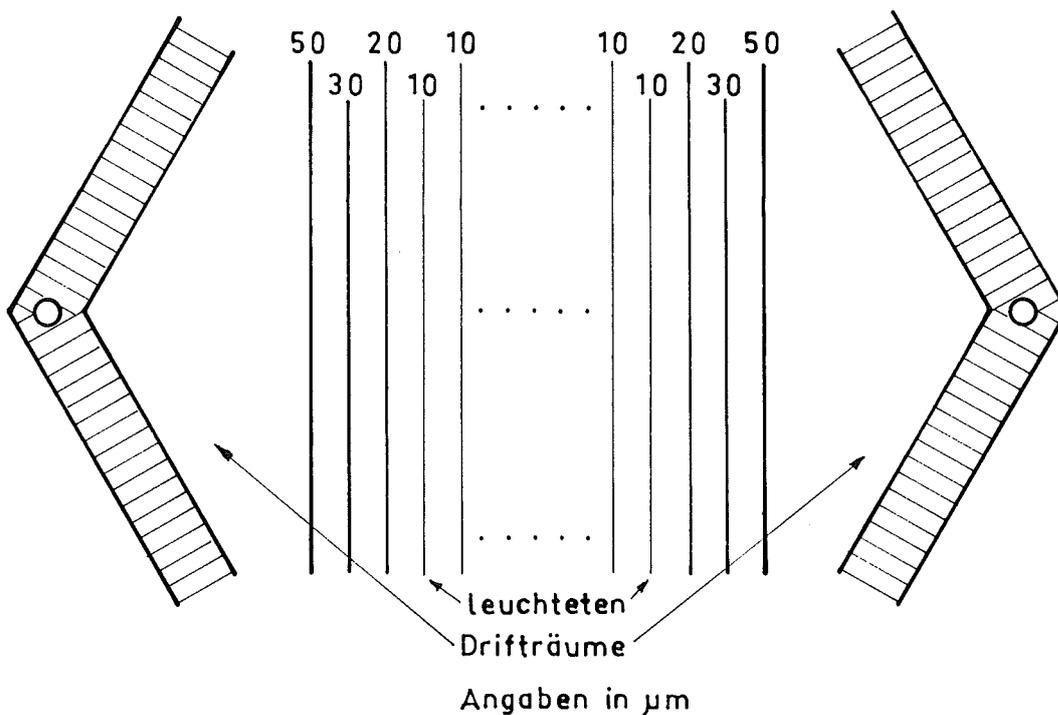


Abb. 15: Abstufung der Drähte in der Ausleseebene

Durch das Verwenden von Aluminiumfolien für die Hochspannungsebenen, überdecken die Hochspannungsebenen eine größere Fläche als die Ausleseebenen (Abb.15). Ionen, die in diesen drahtfreien Räumen links und rechts der Ausleseebene erzeugt werden, driften in diesem stark verzerrten Feld zu den Randdrähten.

Bestätigt wurde dieses Feldmaximum beim äußersten 10 μ -Draht auch durch folgende Versuche:

- a) Entfernt man den äußersten 10 μ -Draht, so leuchtet der dann am äußersten liegende Draht auf.
- b) Ersetzt man den letzten 10 μ -Draht durch einen 15 μ -Draht, so daß man die Abstufung 10 μ , 15 μ , 20 μ , 30 μ , 50 μ erhält, so leuchtet abermals der nun letzte 10 μ -Draht auf, allerdings erst bei einer höheren Spannung.

Lösung des Problems:

Wir brachten auf jeder Ausleseebene links und rechts der bisherigen Randdrähte noch zusätzlich jeweils zwei 100 μ -Drähte an, die ebenfalls über 200 Ω Widerstände an Masse gelegt wurden.

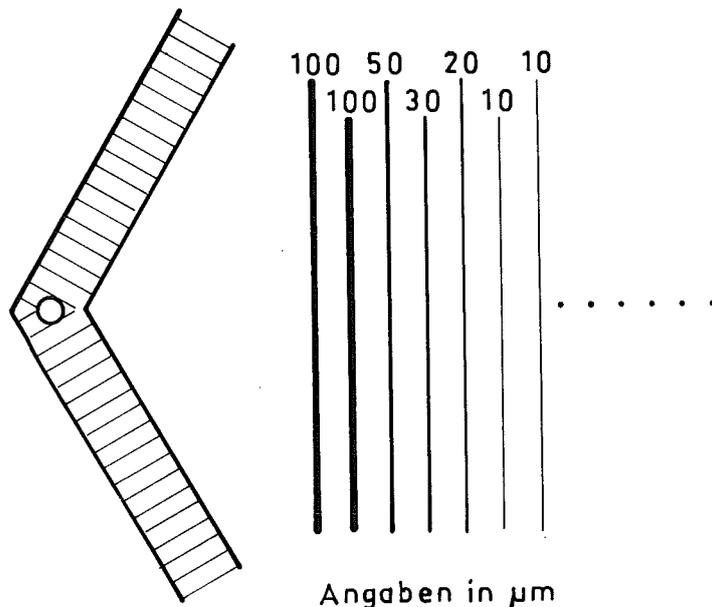


Abb. 16 : Endgültige Anordnung der Drähte

Eine endgültige Beseitigung des Problems erfolgte durch die Wahl eines geeigneteren Gasgemisches ⁸⁾, so daß die Arbeitsspannung herabgesetzt werden konnte. Benutzbar waren Gemische aus Argon-Äthan bzw. Argon-Isobutan-Methylal. ⁹⁾

3. TEST DER KAMMERN MIT RADIOAKTIVEN QUELLEN

3.1 Das Auffinden des idealen Mischungsverhältnisses von Argon und Äthan

Hierzu wurde das Signal eines Auslesedrahtes, der über einen $100\text{ k}\Omega$ Widerstand geerdet war, auf einen ladungsempfindlichen Vorverstärker ⁷⁾ gegeben (Abb. 17). Die restlichen Auslese- und Randdrähte wurden auf Massepotential gelegt. Eine Guardspannung war nicht angeschlossen.

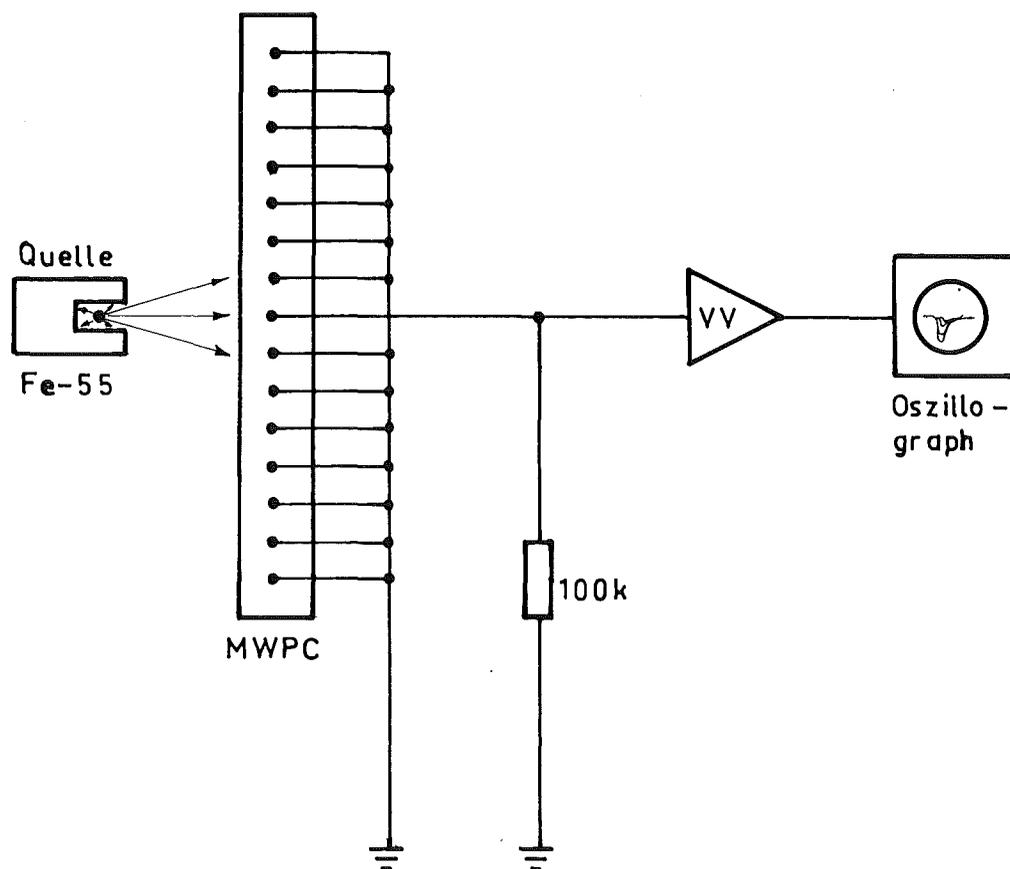


Abb.17: Darstellung der Kammersignale

Mit einem Mischungsverhältnis von 60 % Argon und 40 % Äthan lag die Durchbruchspannung bei 3,6 kV. Bei dieser Spannung war jedoch noch kein Quellensignal zu erkennen.

Daraufhin änderten wir das Gasgemisch auf 1:1, wodurch die Durchbruchspannung auf 4,2 kV stieg und wir bereits bei 3,8 kV eine optimale Arbeitsspannung für die Kammern fanden.

Abb. 18 zeigt das Signal bei einer Hochspannung von -3,8 kV und einem Gasgemisch von Argon-Äthan im Verhältnis von 1:1.

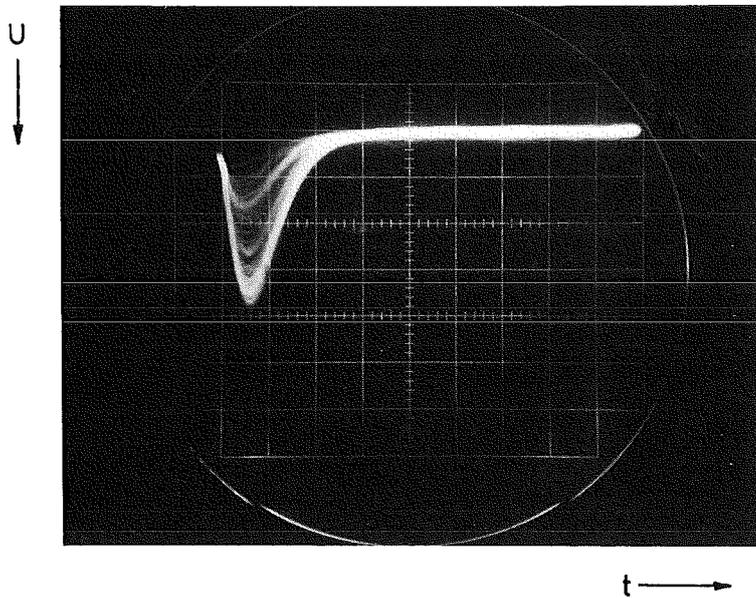


Abb. 18 : Kammersignal einer Eisenquelle (Fe - 55)

Die Escape-Linie (kleine Amplitude) und die Photo-Linie sind deutlich zu erkennen.

Das Spektrum wird im nächsten Abschnitt diskutiert.

3.2 Die Energieauflösung

Mit der im vorigen Abschnitt gefundenen Einstellung wurde die Energieauflösung der Kammer bestimmt. Dazu wurde der folgende Versuchsaufbau benutzt.

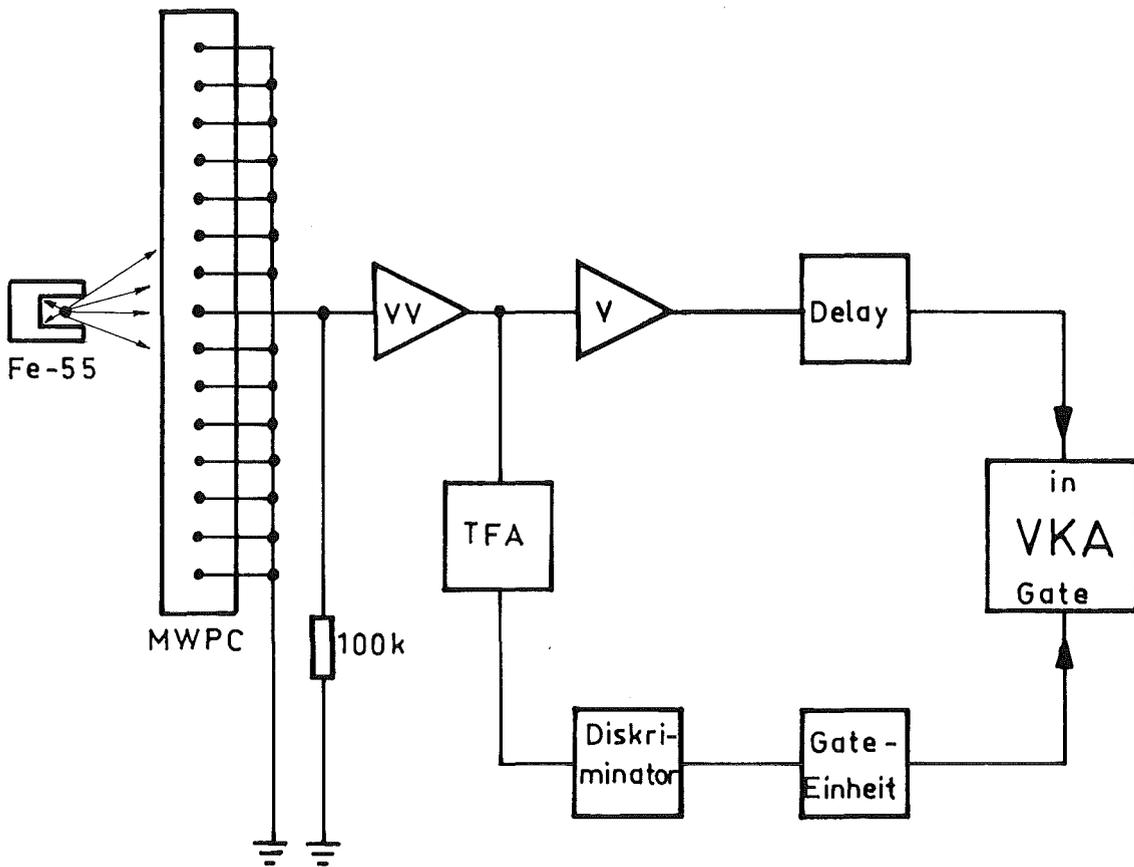


Abb. 19 : Blockschaltbild des Versuchsaufbaus zur Messung der Energieauflösung
VV: Ladungsempfindlicher Verstärker
VKA: Vielkanalanalysator

Der "Timing Filter Amplifier" (TFA) wurde wegen seines hohen Eingangswiderstandes zur Impulsaufteilung verwendet. Die Diskriminatorschwelle wurde so eingestellt, daß das Rauschen gerade keinen Gateimpuls mehr erzeugte.

Ein Signaldraht wurde über einen 100 kΩ Widerstand ausgelesen. Als radioaktive Quelle wurde Fe-55 verwendet. Damit erhielten wir das in

Abb. 20 dargestellte Energiespektrum.

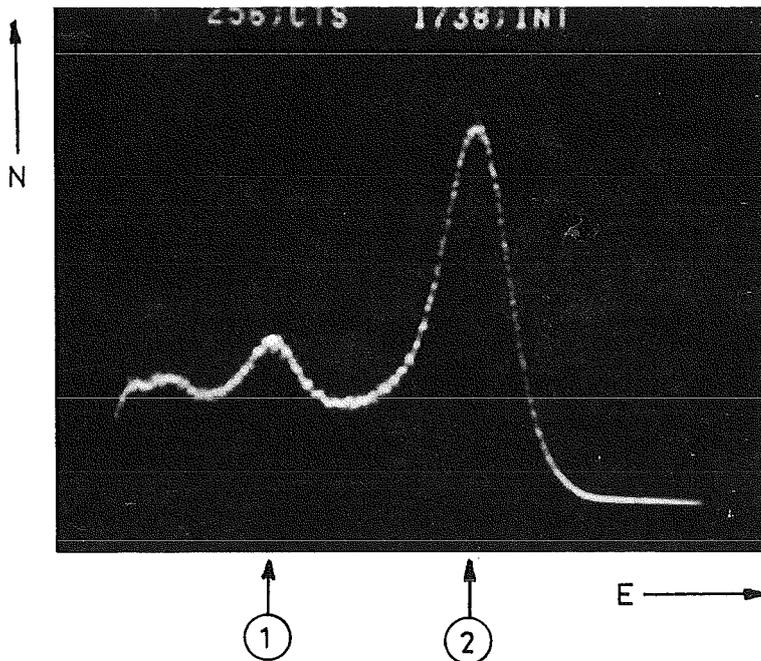
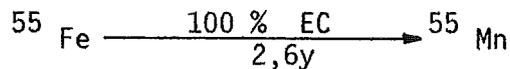


Abb. 20 : Mit Hilfe der Kammer detektiertes Energiespektrum von ^{55}Fe
(HV = -3,5 kV)

①: "Argon-Escape-Linie"; ②: Photolinie

Das Spektrum erklärt sich folgendermaßen:

Das Eisenisotop ^{55}Fe zerfällt durch Elektroneneinfang (EC) in ^{55}Mn .



$$K_{\alpha} = 5,898 \text{ keV } (\approx 100 \%)$$

$$K_{\beta} = 6,5 \text{ keV}$$

Die 5,898 keV Gammastrahlung macht in der Argon-K-Schale Photoeffekt. Dabei sind zur Überwindung der Bindungsenergie der K-Elektronen 3,2 keV notwendig, die restliche Energie von 2,698 keV übernimmt das Elektron als kinetische Energie. Dieses Elektron hat in Argon eine Reichweite von ca. 200 μm , diese Energie (2,698 keV) wird deshalb sicher im Detektor nachgewiesen. Die restlichen 3,2 keV stecken im Argonatom als Anregungsenergie. Erfolgt der Übergang in den Grundzustand über den Augereffekt, so bleiben diese 3,2 keV ebenfalls im Detektor und es wird die totale Energie von 5,898 keV (Photolinie) nachgewiesen. Geht die Abregung jedoch

über die Emission eines Gammas, so kann dieses das Detektorvolumen verlassen und es werden nur 2,698 keV nachgewiesen (Argon-Escape-Linie). Das Verhältnis Photo- zu Escape-Linie beträgt etwa 85 : 15.

Zur Kontrolle wurde vor der Bestimmung der Energieauflösung noch eine Eichung des Vielkanalanalysators (VKA) vorgenommen. Dazu wurden die Eisenlinie und die "Escape-Linie" der ^{55}Fe -Quelle verwendet. Diese Energieeichung ist jedoch detektorabhängig.

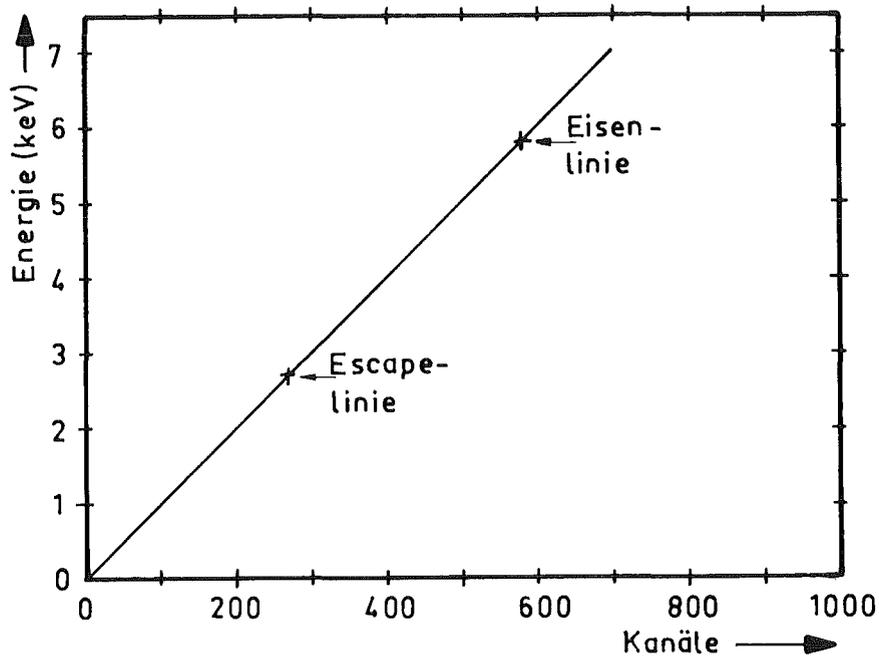


Abb. 21: Energieeichung des VKA

Da die Eichgerade genau durch den Nullpunkt geht, kann die Energieauflösung direkt aus den Kanalzahlen berechnet werden.

Das Maximum der Eisenlinie lag im Kanal 590. Die Halbwertsbreite der Eisenlinie betrug $650 - 519 = 131$ Kanäle.

Für die Energieauflösung erhält man somit :

$$((650 - 519)/590) \cdot 100 \% = \underline{22 \%} = \text{FWHM}$$

Das bedeutet, mit unseren $10 \mu\text{-Kammern}$ erreichen wir an einem $100 \text{ k}\Omega$ Auslewiderstand eine Energieauflösung von 22% . Durch Verwendung eines $10 \text{ M}\Omega$ Auslewiderstandes (Eingangswiderstand (FET) des Vorverstärkers) erhielten wir eine bessere Energieauflösung (ca. 15%).

Die Verbesserung der Energieauflösung bei höheren Arbeitswiderständen ist auf eine Verlängerung der Ionensammelzeit zurückzuführen.

Dies deckt sich auch mit den theoretischen Überlegungen, die streng genommen nur für ein Zählrohr gelten, jedoch auch in guter Näherung in unmittelbarer Nähe der Auslesedrähte einer MWPC.

Die Signalentstehung am Auslesedraht setzt sich aus zwei Komponenten zusammen : 5)

Die wegdriftenden Ionen induzieren eine Spannung von

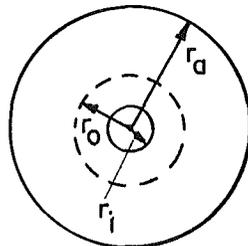
$$v_+ = \frac{A \cdot n \cdot e}{C \cdot \ln(r_d / r_i)} (\ln r_a - \ln r_0) \quad \text{GL. 3.1}$$

Die zur Anode hin beschleunigten Elektronen liefern eine Signalkomponente von

$$v_- = \frac{A \cdot n \cdot e}{C \cdot \ln(r_d / r_i)} (\ln r_0 - \ln r_i) \quad \text{GL. 3.2}$$

Dabei ist:

- e : Elementarladung
- A·n : Anzahl der Elektronen bzw. pos. Ionen in der Lawine
- r₀ : Abstand des Lawinenschwerpunktes von der Anode
- C : Kapazität der Kammer, pro Längeneinheit
- r_i : Radius des Anodendrahtes
- r_a : Abstand zwischen Anode und Kathode



Für das Verhältnis, der von den positiven Ionen und den Elektronen auf der Anode induzierte Spannungen ergibt sich somit :

$$v^- / v^+ = (\ln r_0 - \ln r_i) / (\ln r_a - \ln r_0) \quad \text{GL. 3.3}$$

Da die Hälfte aller Ionen bei der letzten Lawine erzeugt werden, befindet sich der Lawinenschwerpunkt in unmittelbarer Nähe der Anodenoberfläche. Für die Entfernung zwischen Lawinenschwerpunkt und Anodenoberfläche kann man etwa 1 µm annehmen.

Aus Gleichung 3.3 erhält man mit den geometrischen Werten für unsere Kammer :

$$\begin{aligned}r_a &= 5 \text{ mm} \\r_i &= 0,005 \text{ mm} \\r_0 &= 0,006 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$v^-/v^+ = 0,03$$

Das bedeutet, der Elektronenbeitrag zum Signal beträgt nur etwa 3 %. Die positiven Ionen sind somit für die Signalentstehung verantwortlich. Will man nun eine gute Energieauflösung, so muß man über sämtliche positive Ionen integrieren. Mit anderen Worten, die Zeitkonstante und somit der Arbeitswiderstand muß möglichst groß gewählt werden.

Die Kapazität pro Längeneinheit der Kammer berechnet sich zu : ⁵⁾

$$C = 2\pi\epsilon_0/(\pi l/s - \ln(2\pi a/s)) \quad \text{Gl. 3.4}$$

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$$

Mit den geometrischen Größen für unsere Kammern

$$\begin{aligned}l &= \text{Gapweite} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\a &= \text{Drahtradius} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m} \\s &= \text{Drahtabstand} = 10^{-3} \text{ m}\end{aligned}$$

erhält man : C = 2,9 PF/m

d.h. bei einer Drahtlänge von 14 cm ergibt sich eine Drahtkapazität von $C_{\text{Draht}} = 0,5 \text{ pF}$.

Die Eingangskapazität liegt in der Größenordnung von 4 - 6 pF. ⁷⁾
Die Gesamtkapazität ist die Summe von Kammerdraht-, Anschlußkabel- (30 pF/m) und Eingangskapazität des Verstärkers.

Für $C_{\text{ges}} = 35 \text{ pF}$ erhalten wir mit einem Arbeitswiderstand von $100 \text{ k}\Omega$ eine Zeitkonstante von

$$\tau = R \cdot C = 3,5 \text{ }\mu\text{s}$$

und für $R = 10 \text{ M}\Omega$

$$\tau = R \cdot C = 350 \text{ }\mu\text{s}$$

Unter Normalbedingungen erhält man für die Gesamtdriftzeit T der Ionen ⁵⁾

$$T = \pi \epsilon_0 (l^2 - a^2) / \mu^+ C V_0 \quad \text{Gl. 3.5}$$

Mit unseren speziellen Werten

$$l = \text{Gapweite} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$a = \text{Radius der Auslesedrähte} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\mu^+ = \text{Beweglichkeit der pos. Ionen in Argon bei Normalbedingungen} = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs}$$

$$C = \text{Kammerkapazität} = 3 \text{ pF/m}$$

$$V_0 = \text{Kathodenhochspannung} = 3500 \text{ V}$$

erhält man für die Gesamtdriftzeit der Ionen $T = 390 \text{ }\mu\text{s}$.

Hieraus ist ersichtlich, daß man mit dem Auslesewiderstand von $10 \text{ M}\Omega$ die maximale Energieauflösung bereits erreicht hat, denn die Zeitkonstante liegt bereits in der gleichen Größenordnung wie die Ionensammelzeit.

Da unsere Kammer als Ortsdetektor verwendet werden soll, sind wir mehr an einer guten Zeitauflösung interessiert, was im wesentlichen durch den Elektronenanteil bestimmt wird. Um die Totzeit der Kammer klein zu halten, muß die Signallänge kurz sein. Deshalb verwendeten wir einen kleinen Arbeitswiderstand (ca. $200 \text{ }\Omega$).

3.3 Zeitauflösung :

Fliegt ein primärionisierendes Teilchen durch eine Proportionalkammer, so vergeht eine gewisse nicht zu vernachlässigende Zeitspanne, bis der Detektor das Teilchen erkannt hat und an seinem Ausgang ein Signal liefert. Diese Zeitspanne wird vom Abstand des Primärionenschlauchs zum Zähldraht bestimmt. Deshalb können auch gleichzeitig auftreffende Teilchen zu verschiedenen Zeiten registriert werden. Die wesentlichen Parameter der Zeitauflösung sind die Kammergeometrie, d. h. Gapweite und Drahtabstand, sowie die Driftgeschwindigkeit der Ionen, die ihrerseits wiederum von dem verwendeten Gasgemisch und der angelegten Hochspannung abhängt. Mit der in Abb. 22 dargestellten Anordnung wurde die Zeitauflösung der Kammer bestimmt. Diese Messungen wurden am CERN durchgeführt.

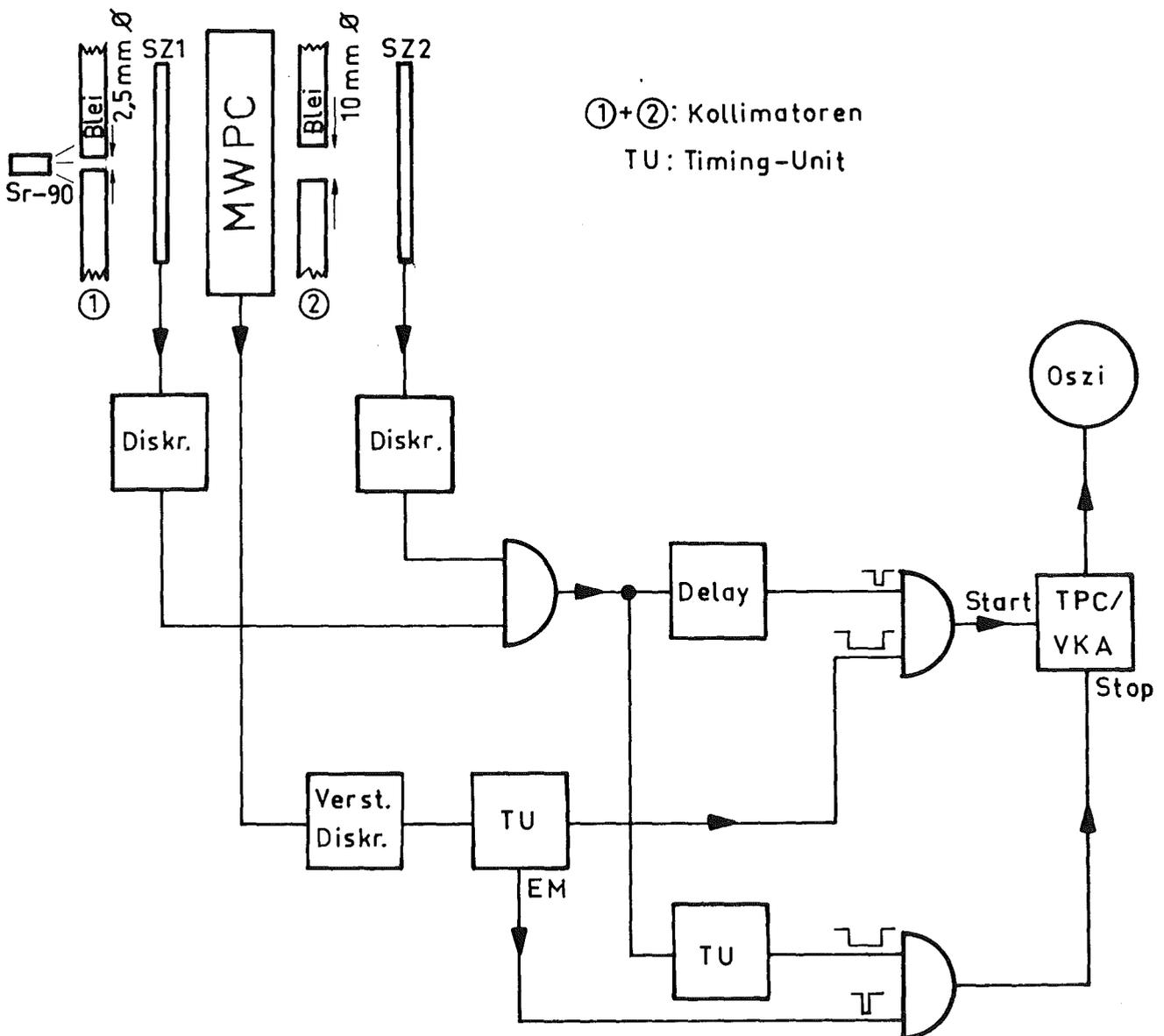


Abb. 22 : Blockschaltbild des Versuchsaufbaus zur Bestimmung der Zeitauflösung der MWPC

Die 3-fach Koinzidenz Szintillator 1, Szintillator 2 und Kammer (SZ1·SZ2·K) mit schmalen Szintillatorpuls lieferten das Startsignal für den Zeit-Analog-Wandler (TPC). Um definierte Ereignisse zu haben, wurde für das Stoppsignal ebenfalls die 3-fach Koinzidenz SZ1·SZ2·K verwendet, diesmal allerdings mit einem schmalen Kammerpuls.

Die Spektren wurden mit dem Zeit-Pulshöhen-Wandler-VKA vom Typ 3001 von Le Croy aufgenommen.

Als Gasmisch benutzten wir Argon, Isobutan, Methylal, womit die optimale Arbeitsspannung bei -4,7 kV lag.

Damit erhielten wir die folgenden Ergebnisse:

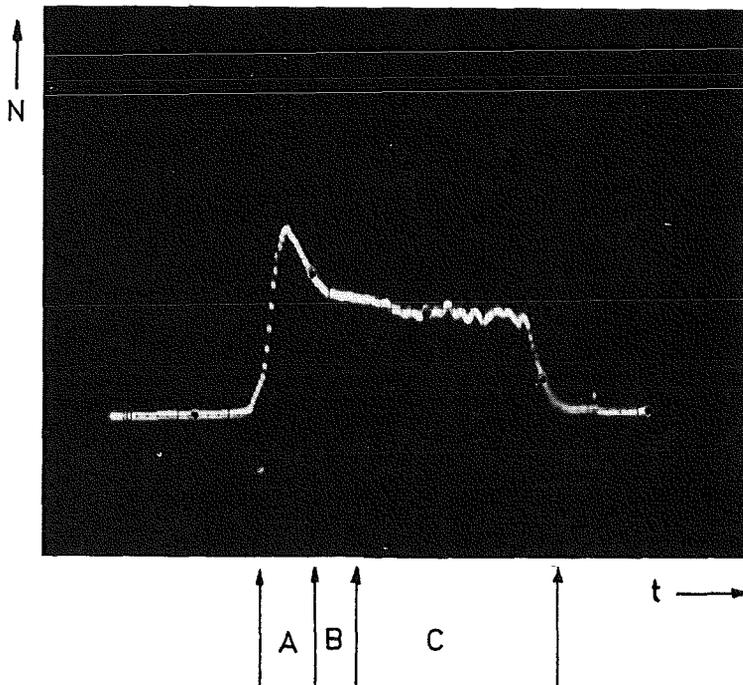


Abb. 23 : Zeitverteilungsspektrum bei nur einem ausgelesen Signaldraht und etwas geneigter Flugbahn der minimalionisierenden Elektronen
1 cm = 33 ns

Erklärung des Spektrums :

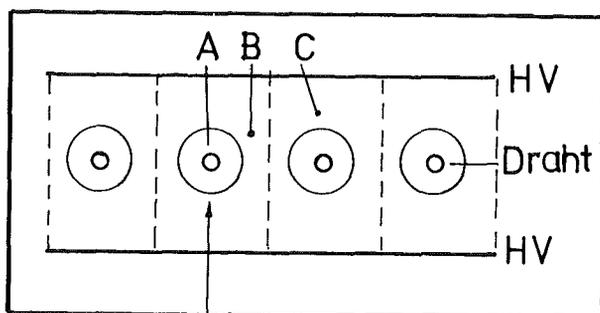


Abb. 24 : Schnitt durch eine einfache MWPC

Das Zeitverhalten von Proportionalkammern wird von den Elektronen bestimmt, die in der Ionisationsspur erzeugt wurden. Auf Grund der besonderen Feldstruktur in Drahtnähe, lassen sich die drei in Abb. 24 als A, B und C bezeichneten Gebiete unterscheiden. In A produzierte Elektronen werden in dem dort vorherrschenden starken Feld schnell gesammelt (schneller Bereich), die in C entstandenen Elektronen driften in dem schwachen Feld langsam zu der Anode und werden dort vervielfacht und gesammelt. Diese Elektronen bilden den Schwanz in der Zeitverteilung, während B den Übergangsbereich darstellt.

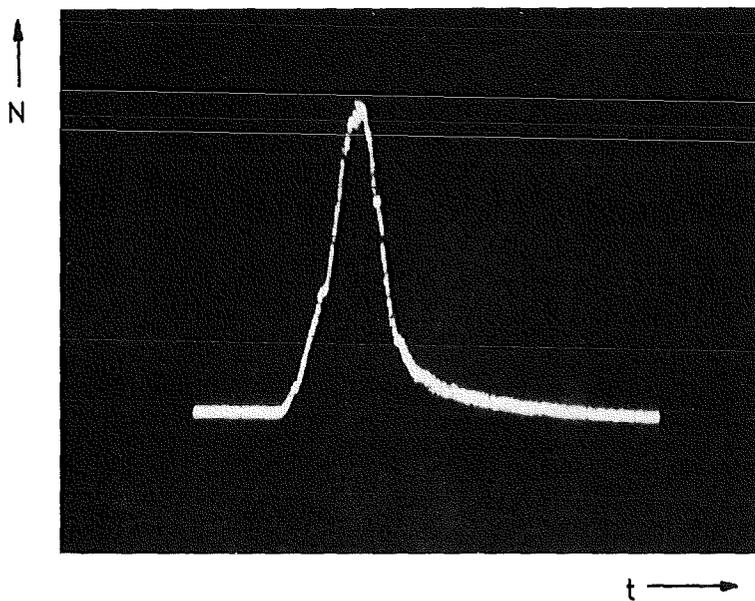


Abb. 25 : Zeitverteilungsspektrum bei 32 zusammengeschlossenen Ausleседrähten und stark fokussierter Quelle

HV = -4,7 kV

1 cm = 15,4 ns

Aus dem Spektrum in Abb. 25 entnimmt man eine Zeitauflösung von

$$\underline{FWHM = (11,5 \pm 0,5) \text{ ns.}}$$

Die Zeitauflösung von Proportionalkammern wird durch die Statistik der Ionenpaarerzeugung begrenzt. ⁵⁾

Aus Abb. 25 läßt man auch ab, daß die längste Ionensammelzeit etwa 70 ns beträgt. Nimmt man an, daß diese Ionen die gesamte Gapweite durchdriften mußten, erhält man eine Driftgeschwindigkeit von ca. 7 cm/ μ s. Das stimmt gut mit dem theoretisch erwarteten Wert überein. ⁵⁾

3.4 Die Stromkurve

Eine Kammer wurde mit der Gasmischung 66,1 % Argon, 29,4 % Isobutan und 4,5 % Methylal durchspült und von der Sr-90 Quelle bestrahlt. Gleichzeitig wurde der über die Kathode abfließende Strom (HV-Strom) als Funktion der Kammerhochspannung gemessen. Wir erhielten damit die in Abb. 26 dargestellte Stromkurve.

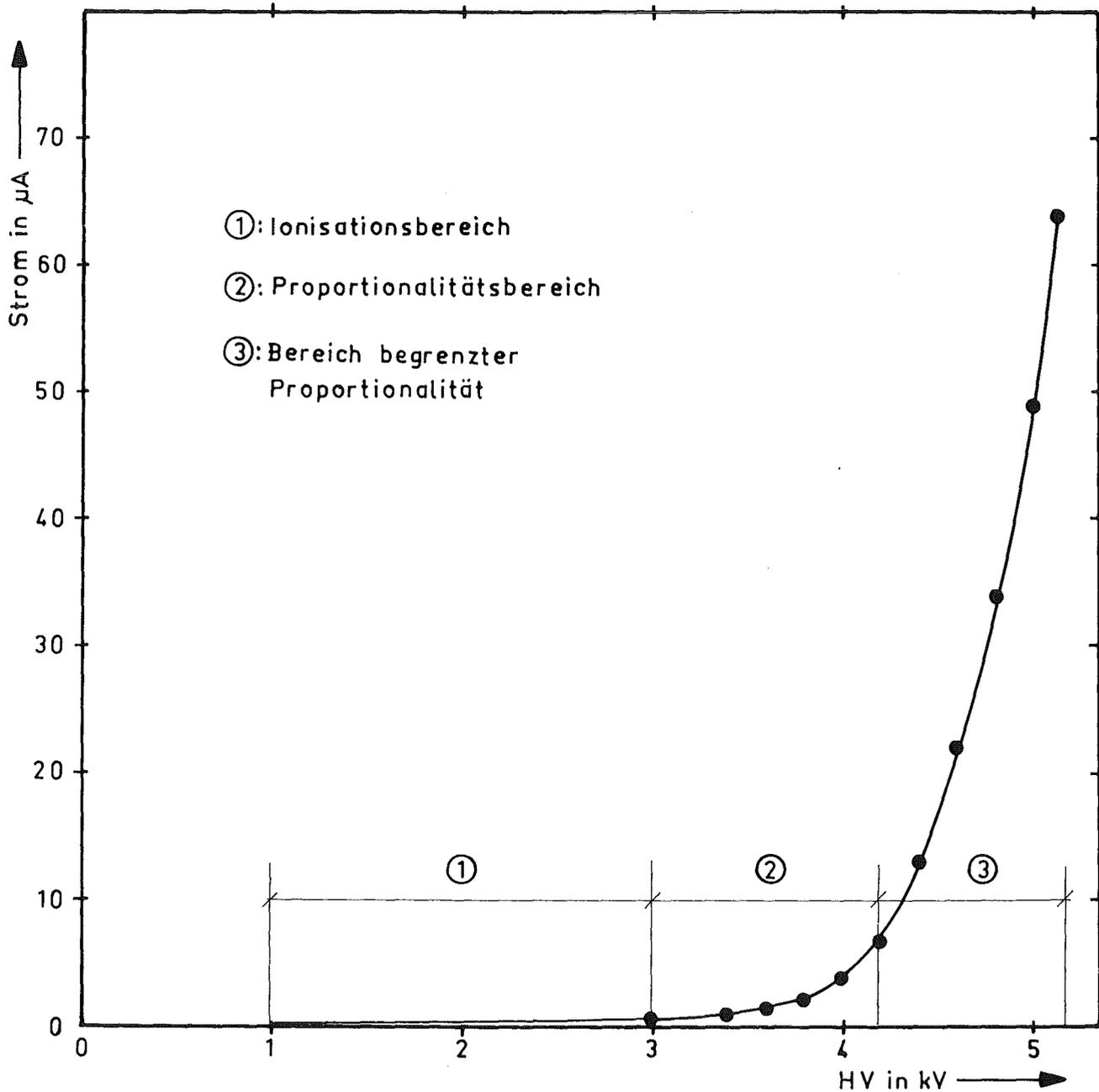


Abb. 26 : Stromkurve der MWPC

Die Kammer wird im Bereich der begrenzten Proportionalität betrieben.

4. DIE AUSLESEELEKTRONIK

Wie bereits in Kapitel 3.2 erwähnt, werden unsere Kammern als Ortsdetektoren benutzt und brauchen deshalb nur eine logische Information zu liefern. Unter den, für diesen Zweck auf dem Markt angebotenen Auslesesystemen, entschieden wir uns für das System "PCOS II" der Firma Le Croy.

4.1 Kurzbeschreibung des MWPC-Auslesesystems PCOS II ¹⁰⁾

PCOS II ist ein komplettes System zur Verarbeitung der von Vieldraht-proportional-kammern (MWPC) gelieferten Signale.

Es beinhaltet die normalerweise auf die Kammer zu montierende Elektronik (PC 7700 Karten) zur Verstärkung, Diskriminierung, Verzögerung und Zwischenspeicherung der Datensignale, sowie einen CAMAC-Einschub zur Kodierung der Daten von bis zu 4096 Signaldrähten.

Zwei Auslesekanäle bestehend aus dem Vorverstärker-Diskriminator, einer aktiven Verzögerung und dem Koinzidenzregister sind in jedem Modell PC 700 Hybrid installiert (Abb. 27). Jeder Kanal hat eine Eingangsimpedanz von 200Ω und eine maximale Eingangsempfindlichkeit von $-1\mu A$. Auf jeder Modell 7700 Kammerkarte (Abb. 28) befinden sich 16 solcher PC 700 Hybrids. Somit kann jede Kammerkarte 32 Signale vollständig verarbeiten. Die interne aktive Verzögerung erlaubt eine Koinzidenz mit einem externen Trigger.

Die in den Hybrids gespeicherten Daten werden von einem "Load-Puls" parallel in das Schieberegister der PC 7700 Karte geladen.

Das Auslesen und die Adressdekodierung der Detektorsignale wird von dem CAMAC-Kontroller Modell 2700 vorgenommen. Das Datenbus-Flachbandkabel überträgt die Daten zwischen den PC 7700 Karten und dem CAMAC-Kontroller. Der Kontroller liefert auch die "Clear-", "Load-" und "Clock-" Befehle an alle PC 7700 Karten.

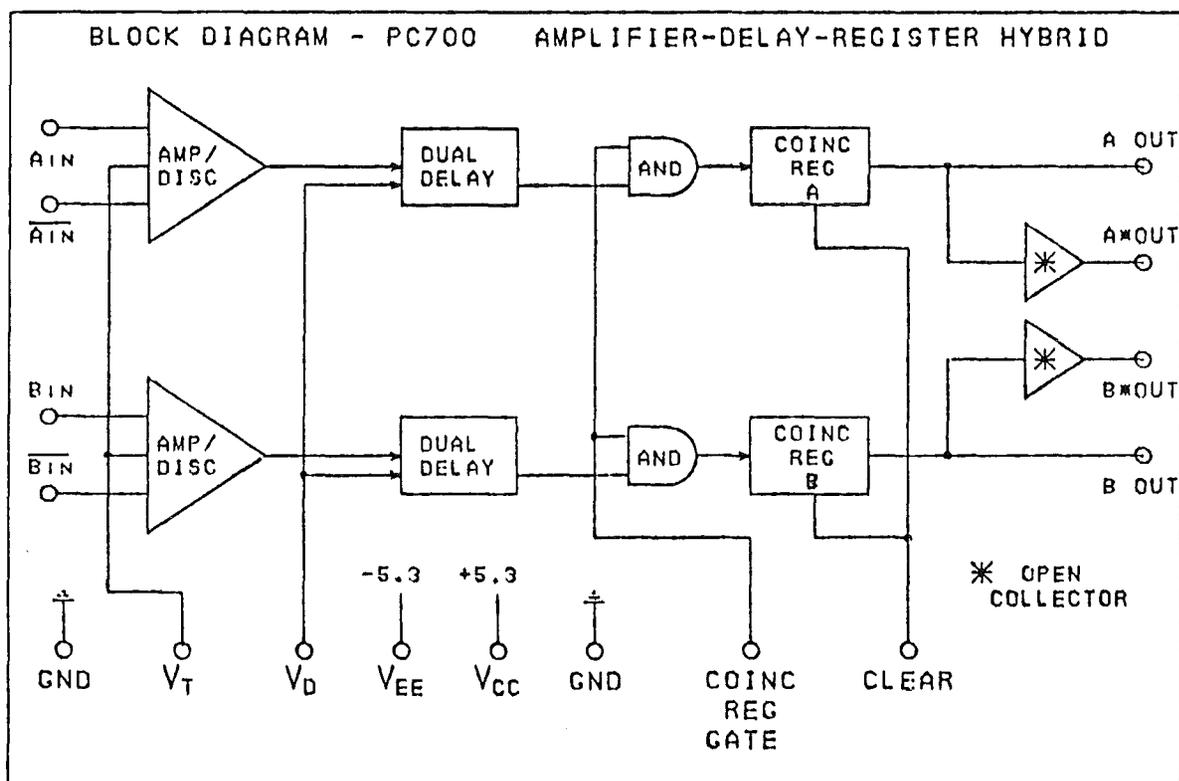


Abb. 27 : Blockschaltbild des Hybrids PC 700

V_T : Schwellen-Kontroll-Spannung

V_D : Verzögerungs-Kontroll-Spannung

V_{EE} u. V_{CC} : Versorgungsspannungen

\overline{A}_{in} u. \overline{B}_{in} : Anschlüsse für die Kammer-signaldrähte

A_{in} u. B_{in} : Anschlüsse für die Nulleiter (s. Kapitel 4.2)

A^*out u. B^*out : schnelle offene Kollektorausgänge, durch deren Benutzung kann die Kammer selbst mit in den Trigger einbezogen werden.

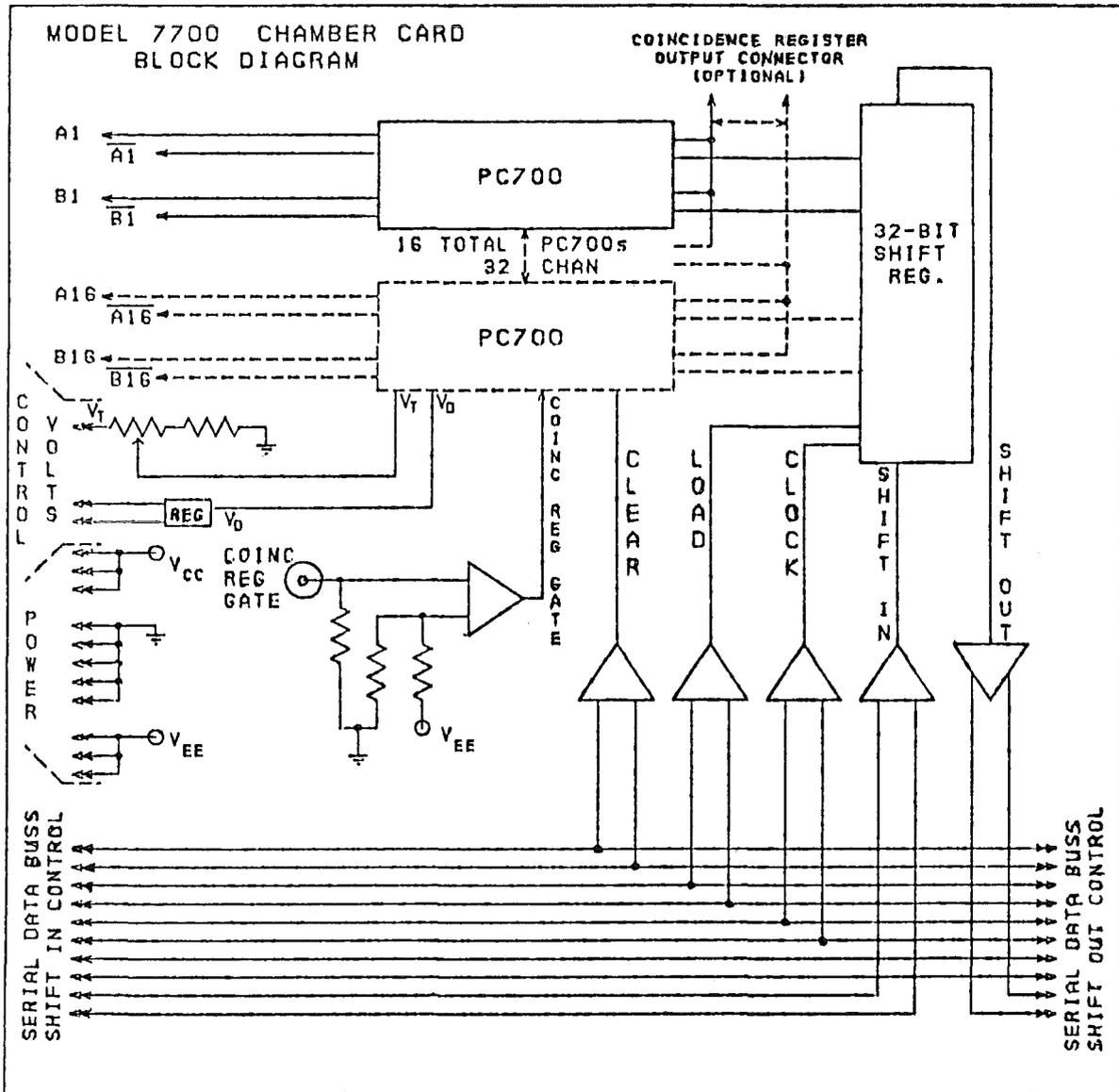


Abb.28 : Blockschaltbild der Modell PC 7700 Kammerkarten

Zur Überprüfung dieser PC 7700 Kammerkarten, mußte eine Testeinheit konstruiert werden, die im Anhang beschrieben wird (Kap. A6).

Funktionsweise der Kammerauslese :

Ist das Kammer-signal höher als die eingestellte Schwelle und in Koinzidenz mit dem Einschreibepuls ("Coincidence-Register Gate Pulse"), so wird das hybridinterne Koinzidenzregister gesetzt. Mit dem vom Kontroller erzeugten Ladepuls ("Load-Pulse") wird der Inhalt sämtlicher Koinzidenzregister parallel in ein 32-Bit-Schieberegister auf der PC 7700 Karte geladen. Nach dem Erhalten eines " Accept Data " Befehles vom Master-Trigger (Abb. 36) werden die Daten von den PC 7700 Karten seriell in den 2700 Kontroller geschoben. Für jedes Cluster ^{*)} erzeugt der Kontroller ein 16 Bit "Kammerwort", worin die unteren 12 Bits die Drahtadresse (Clustermitten von 0 bis 4095) und die höchsten 4 Bits die "Clusterbreite" (von 0 bis 15) angeben und schreibt die Adressen in ein "first-in-first-out" (FIFO) Speicher zur standardmäßigen CAMAC-Auslese. Nachdem der Kontroller ein "LAM"-Signal auf den CAMAC-Datenbus gegeben hat, schreibt der PDP 11-Rechner den "FIFO"-Inhalt auf ein Magnetband.

*) Eine Reihe benachbarter, gefeuerter Drähte zwischen zwei nicht gefeueren Drähten bilden ein Cluster. Die Clusterbreite ist dabei durch die Anzahl der angesprochenen Drähten gegeben.

4.2 Anschluß des Kammersystems an die Ausleseelektronik

Wie bereits erwähnt (S. 7) konnten aus Platzmangel die PC 7700 Karten der Ausleseelektronik nicht direkt auf die Kammer installiert werden. Die Ausleseelektronik mußte deshalb außerhalb des tonnenförmigen Detektorsystems aufgebaut werden und wurde über Kabel mit den Kammern verbunden.

Im Labortest fanden wir, daß Flachbandkabel eine optimale Lösung bilden. Siehe Tabelle 4.1

	Abschwächung	Übersprechen (crosstalk)	min. Schwelle
Twisted Pair- Kabel, 2m	3,7 db	vernachlässigbar <-40 db bei 40mV Signal	- 2 V
Flachband - kabel, 2 m	vernachlässigbar	-30 db bei 40 mV Signal	- 5 V

Tab. 4.1

Ein weiteres Problem erwies sich, durch die Wahl von Flachbandkabel, ebenfalls als vernachlässigbar. Die Verwendung von Kabeln bewirkt durch die zusätzliche Kapazität eine Vergrößerung der Kammertotzeit.¹¹⁾ Für die von uns gewählten Kabeln^{*)} mit einer Länge von 1,5 m ergibt sich eine Totzeitverlängerung von etwa 60 nsec.

Zum Anschluß der Flachbandkabel wurden auf den Leiterplatten der Kammern, Stecker angelötet. Die Auslesedrähte wurden alternierend auf die Stecker der oberen - und unteren Leiterplatte des gleichen Kammerrahmens geführt.

*) Flachbandkabel (20 adrig) 3M TYP 3365/20
 $Z=105\Omega$; $C=42pF/m$; $L=0,56 \mu H/m$; $v=0,2 m/nsec$

Die außenliegenden Pin-Reihen der Flachbandkabelstecker sind durch eine breite Leiterbahn miteinander verbunden (Abb. 3), außerdem wurden diese Leiterbahnen sämtlicher Platinen zusammengeschlossen und über ein Kabel mit dem Nulleiter der PCOS-Karten-Spannungsversorgung verbunden, welcher selbst massefrei ist. Auf diese Weise wurde erreicht, daß sich auf dem 20-adrigen Flachbandkabel zwischen zwei Signalleitungen stets ein Nulleiter befindet. Dadurch wird das Übersprechen zwischen den Signaldrähten stark reduziert und liegt somit unterhalb des in Tabelle 4.1 angegebenen Wertes.

Die Eingangsverstärker der PC 7700-Karten besitzen differentielle Eingänge (Abb. 27). An die mit $\overline{A_{in}}$ und $\overline{B_{in}}$ bezeichneten Eingänge wurden die Signaldrähte und an die mit A_{in} und B_{in} bezeichneten Eingänge die dem jeweiligen Signalleiter benachbarten Nulleiter angeschlossen. Dies bewirkte eine beträchtliche Erhöhung der Stabilität des Systems. Denn, fängt nun ein Signaldraht eine Störung ein, so befindet sich diese Störung auch mit großer Wahrscheinlichkeit auf dem benachbarten Nulleiter. Damit wird die Differenzspannung sehr klein und überwindet nicht die Diskriminatorschwelle.

Zur Installation der PC 7700-Karten wurden zwei spezielle Platinen ("Trägerplatinen") angefertigt (Abb. 29). Auf diesen Platinen wurden die Flachbandkabelstecker und die Steckerleisten für die PC 7700-Karten ("Dual 36 Pin Card Edge Connector") angebracht.

Die PC 7700 - Karten werden so aufgesteckt, daß sich die Hybrids über den Lüftungsöffnungen befinden. Unter jeder Öffnung wurde ein Lüfter angebracht, der für die Kühlung von zwei PC 7700-Karten sorgt (Abb. 29).

Die Auslesedrähte wurden bei Null beginnend im Uhrzeigersinn über alle 6 Ebene hinweg durchnummeriert, der letzte Draht in der 6. Ebene erhielt somit die Adresse 479 (Abb. 8 S. 13).

Damit die Kammerinformation aber auch in dieser Reihenfolge in die Hybridkoinzidenzregister eingeschrieben wird, mußten die von der Kammer her auf den Flachbandkabelsteckern der "Trägerplatine" ankommenden Signaldrähte mit Hilfe der "Wire-Wrap" Technik mit den entsprechenden Pins der Steckerleisten für die PC 7700-Karten in der richtigen Reihenfolge verbunden werden. Die Nulleiter der Flachbandkabel wurden dagegen über Leiterbahnen mit den Verstärkereingängen verbunden.

Bedingt durch das alternative Herausführen der Signaldrähte auf die obere und untere Leiterplatte der Ausleseebenen, gibt es eine Flachbandkabel-Gruppe für die Signaldrähte mit geradzahligem Adressen und eine für die Signaldrähte mit ungeradzahligem Adressen. Diese beiden Flachbandkabel-Gruppen werden auch auf zwei getrennte "Trägerplatten" geführt. Auf jeder dieser Platten sind 8 PC 7700-Karten montiert. Jede dieser Trägerplatte wird über einen eigenen Datenbus (20 adriges Flachbandkabel) mit dem CAMAC-Kontroller 2700 verbunden (Abb. 29).

Durch das Betreiben des Kontrollers im "Multiplexing Mode" wird erreicht daß während dem seriellen Durchtakten des Inhaltes der PC 7700-Schieberegister in die Schieberegister des Kontrollers, die Daten der Datenbusse 1 und 2 abwechselnd in die Register eingeschrieben werden. Damit wird die Trennung von geradzahligem und ungeradzahligem Drahtadressen wieder rückgängig gemacht. Die "Bit-Struktur" entspricht somit wieder den Drahtadressen von 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 bis 479. Ein "On-Line" Programm steuert die CAMAC-Datennahme. ¹²⁾

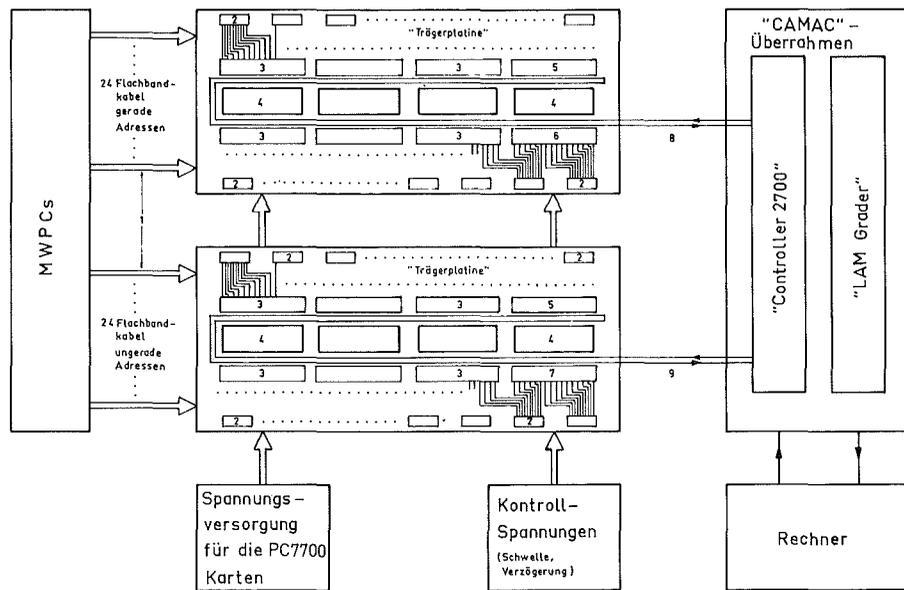


Abb. 29 : Anschluß der MWPCs an die Ausleseelektronik

- 1 : 48, ca. 1,50 m lange, 20 adrige Flachbandkabel
- 2 : Flachbandkabelstecker für den Kammeranschluß, 24 Stück pro Trägerplatte
- 3 : auf die Steckerleisten aufgesteckte PC 7700-Karten
- 4 : Lüftungsöffnungen
- 5 : PC 7700-Endkarten, diese besitzen u.a. das Abschluß-Netzwerk für den Datenbus (s. Abb. A20)
- 6 : diese Karte sitzt dem Controller am nächsten, deshalb wurde an deren 1. Kanal der Auslesedraht mit der Adresse "0" angeschlossen
- 7 : an den 1. Kanal dieser Karte wurde der Signaldraht mit der Adresse 1 angeschlossen
- 8 : Datenbus für die geradzahigen Drahtadressen
- 9 : Datenbus für die ungeradzahigen Drahtadressen

4.3 Das Erden der Kammern und der Folgeelektronik

Um einen stabilen Betriebszustand zu erreichen, erwies es sich als notwendig, eine sorgfältige Verlegung der Masse durchzuführen. Erfolgreich waren wir mit der folgenden Verlegung.

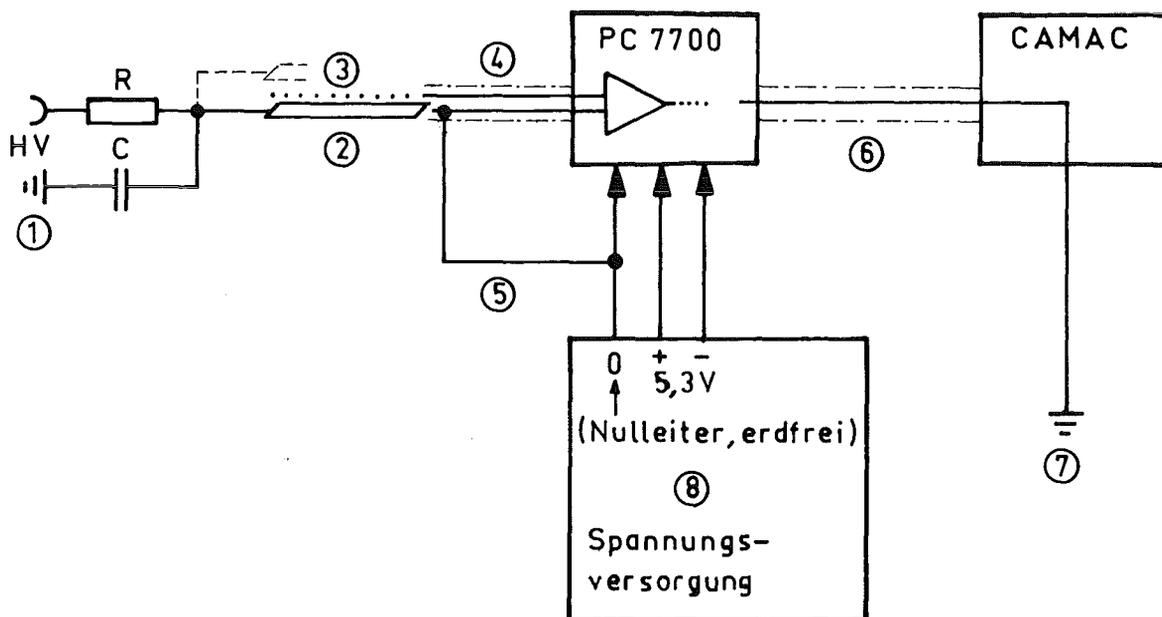


Abb. 30 : Verlegung der Masse am Beispiel eines Auslesekanals
Die gesamte Ausleseelektronik ist nur an einem Punkt geerdet und zwar über den CAMAC-Überrahmen.

- ① : Hochspannungsmasse, nicht mit der Ausleseelektronik verbunden
- ② : HV-Aluminiumfolie
- ③ : Kammer-Signaldrähte
- ④ : Flachbandkabel
- ⑤ : Nulleiter
- ⑥ : Datenbus-Flachbandkabel, es enthält 6 Masseleitungen
- ⑦ : Erdung des CAMAC-Überrahmens
- ⑧ : erdfreies Spannungsversorgungsgerät für die PC 7700 Karten

5. EINSATZ DES KAMMERSYSTEMS AM \bar{p} -STRAHL

5.1 Das Auffinden der optimalen Betriebsparameter

5.1.1 Die Plateaukurve

Um die optimalen Betriebsbedingungen für die Kammern herauszufinden, wurde die Plateaukurve "on-line" in Abhängigkeit von der Gate-Breite, der Verzögerung zwischen $\bar{p} \cdot T_4$ und dem Gate für die PC 7700-Karten und der Schwelle der Ausleseelektronik am \bar{p} -Kanal gemessen. Hierzu wurde der in Abb. 2 gezeigte Experimentaufbau verwendet, nur befand sich diesmal kein Moderator im Strahlengang. Zwischen Kammer und Target wurde zusätzlich noch ein kleiner Szintillatorzähler (T_4) installiert. Die Ausleseelektronik war nach Abb. 29 an das Kammer-system angeschlossen.

Zum Messen der Nachwahrscheinlichkeit wurde folgender Trigger aufgebaut:

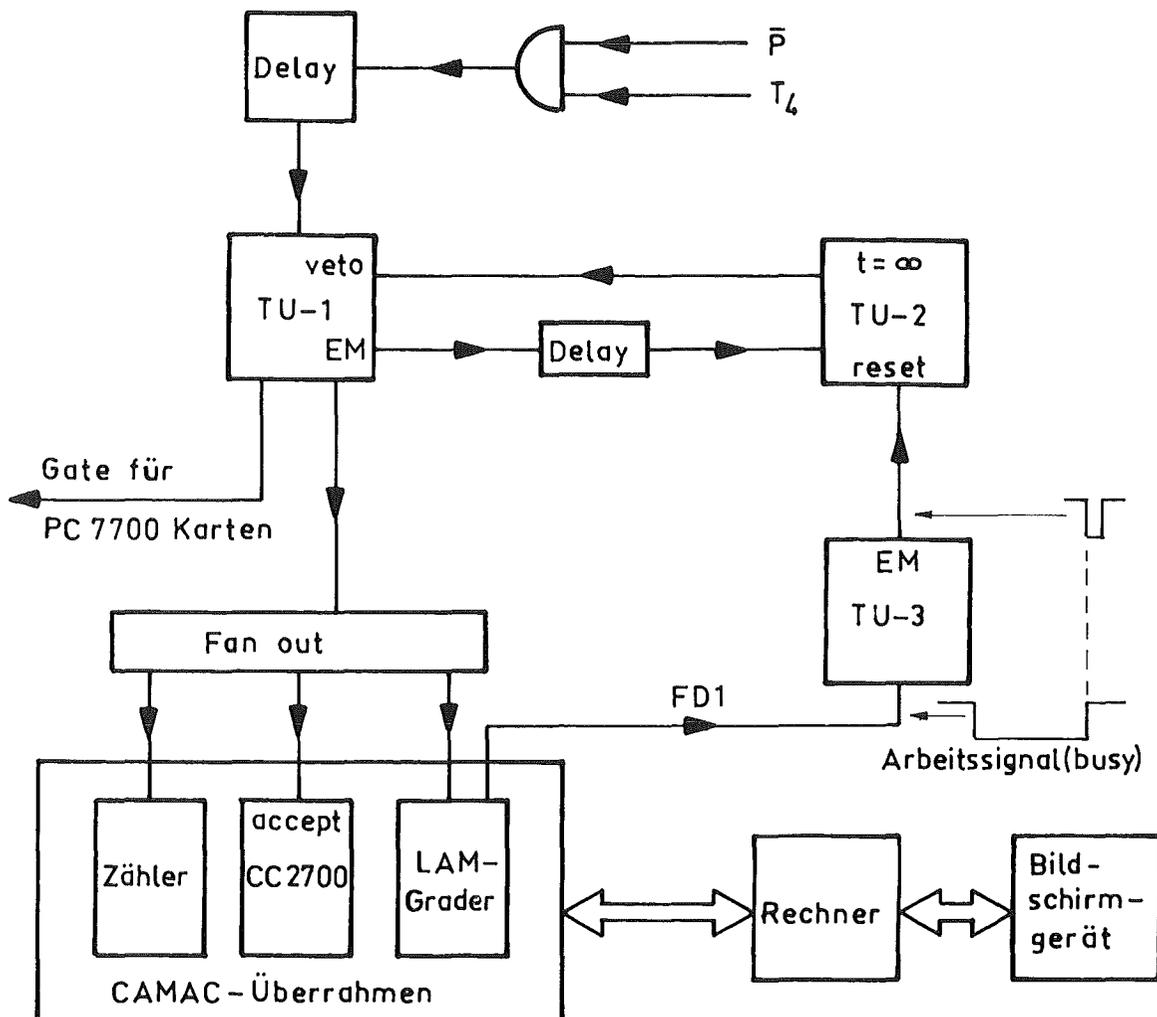


Abb. 31 : Trigger zur Messung der Plateaukurve

TU = Timing-Unit; EM = End-Marker; $\bar{p} = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot \bar{C}$

Die Koinzidenzen zwischen dem Antiprotonentrigger und dem Szintillatorzähler T_4 , definierten die durch die Kammer geflogenen Teilchen. Diese Koinzidenzen wurden verzögert und erzeugten mit Hilfe der variablen Gate- und Verzögerungseinheit TU-1, den Gate-Puls für die PC 7700-Karten. Der Endmarker von TU-1 startete über eine Verzögerung die Totzeitschaltung (TU-2). Der Ausgang von TU-1 lieferte auch das "Accept"-Signal für den CAMAC-Kontroller 2700 und setzte im "LAM-Grader" ein Flip-Flop. Der "LAM-Grader" erzeugte ein Arbeitssignal (FD1), dessen Länge von der vom Rechner zur Kammerauslese benötigten Zeit bestimmt wurde. Am Ende von FD1 ("Busy-Signal") erzeugte TU-3 ein kurzer Puls, der TU-2 zurücksetzte und somit die Blockierung von TU-1 wieder aufhob. Die Kammer konnte nun das nächste Event registrieren. Die Adressen der angesprochenen Drähte wurden in ein Histogramm einsortiert.

Die Nachweiswahrscheinlichkeit wurde bestimmt, indem wir über den Inhalt des "Kammer-on-line-Spektrums" integrierten und dieses Integral durch die Anzahl der Trigger dividierten.

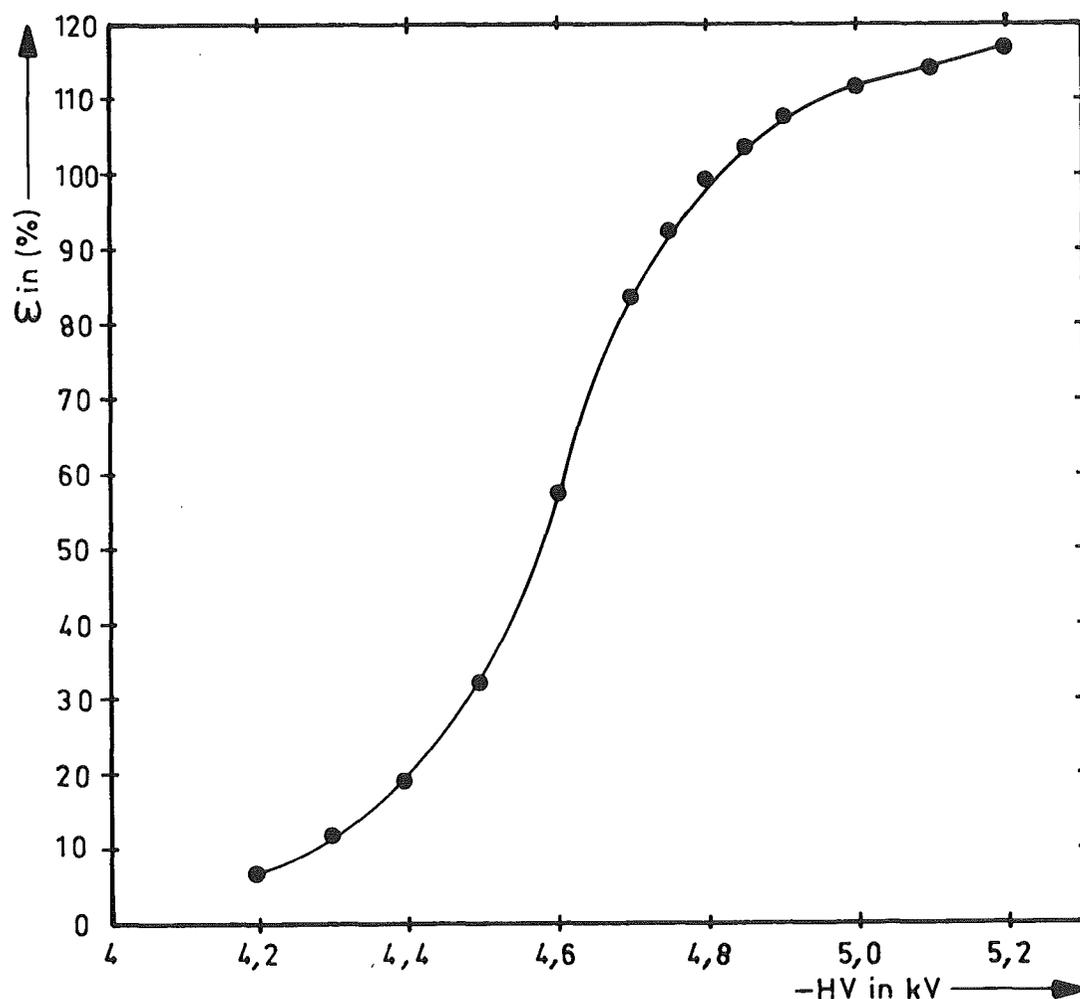


Abb. 32 : "On-Line" gemessene Nachweiswahrscheinlichkeit (Efficiency ϵ) als Funktion von der Hochspannung

Aus Abb. 32 ist ersichtlich, daß wir mit dieser Methode eine Nachweiswahrscheinlichkeit der Kammer von über 100 % erhielten.

Dafür waren bei dieser Meßmethode folgende Effekte verantwortlich:

1. Ionen, die innerhalb der Gatebreite in die Kammer flogen, wurden mitgezählt.
2. Annihilationsprodukte von \bar{p} , die in den Szintillationszählern vor und hinter der Kammer stoppten, konnten im "On-Line" Spektrum nicht von \bar{p} unterschieden werden.
3. Bei höheren Hochspannungen kam es in den Kammern zu vereinzelt Gasentladungen, die von der Ausleseelektronik ebenfalls als Detektorsignale registriert wurden.
4. Wenn bei Clusterbreiten größer 2 ein Draht nicht feuerte, wurden 2 Clusterzentren angenommen und somit 2 Drahtadressen gleichzeitig hochgezählt.
5. Einstreuungen in die Flachbandkabel konnten ebenfalls ein Hochzählen einzelner Kanäle bewirken.

Um all diese Effekte auszuschließen, wurde die Nachweiswahrscheinlichkeit durch Analyse der Magnetband-Daten ermittelt ("Off-Line").

Diese Methode und die damit erhaltenen Ergebnisse werden in Kapitel 6.1.1 diskutiert.

Mit der hier beschriebenen Methode sollten nur die optimalen Betriebsbedingungen der Kammer herausgefunden werden, deshalb genügte uns eine qualitative Aussage über den Beginn des Zählerplateaus.

5.1.2 Die Gate- und Delaykurve

In Abb. 33 ist die Abhängigkeit der Nachweiswahrscheinlichkeit von der Breite des Gate-Pulses aufgetragen.

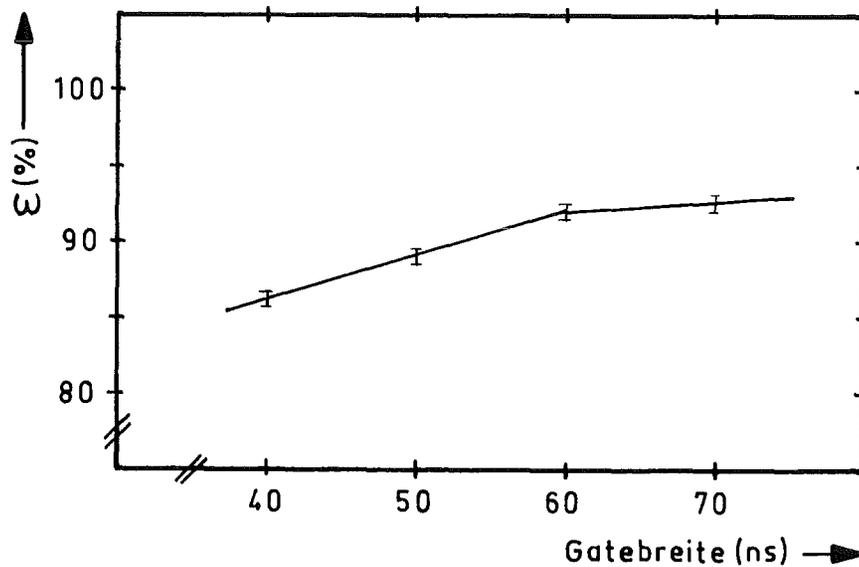


Abb. 33 : Abhängigkeit der Nachweiswahrscheinlichkeit von der Gatebreite bei einer Schwellenspannung von -7 V und einer Hochspannung von -4,9 kV

Aus Abb. 33 entnimmt man, daß ein Gate von mindestens 60 nsec Breite notwendig ist, damit keine Information verloren geht. Das weitere Ansteigen der Nachweiswahrscheinlichkeit bei einer Gatebreite von mehr als 60 nsec wurde durch die damit verbundene erhöhte Registrierung von zufälligen Ereignissen verursacht. Bei Messungen macht man das Gate so schmal wie möglich.

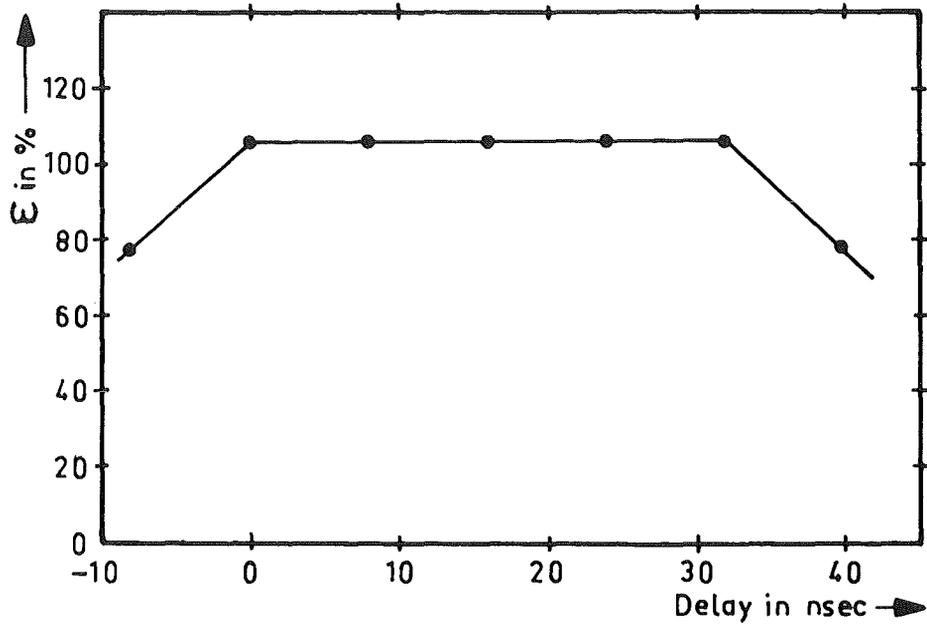


Abb. 34: Abhängigkeit der Nachweiswahrscheinlichkeit von der Verzögerung des Gate-Pulses gegenüber der Koinzidenz $\bar{p} \cdot T_4$. Die Gatebreite betrug 60 nsec.

Aus Abb. 34 entnimmt man eine ideale Verzögerung von 15 nsec. Die Schwelle der Ausleseelektronik wurde so eingestellt, daß der Untergrund gerade unterdrückt wurde.

5.1.3 Die Hilfselektroden und Homogenitätsmessung

Die Aufgabe solcher Hilfselektroden (Guard-Strips) (siehe Abb. 5, 6 u. 10) ist die Kompensation von Verzerrungen des elektrischen Feldes an den Drahtenden, die durch den Sprung in der Dielektrizitätskonstante zwischen Gas und Kammerrahmen verursacht werden. Dazu wird an diese Elektroden eine Spannung, mit dem gleichen Vorzeichen wie die Hochspannung, angelegt. Die Größe dieser "Guard-Spannung" (U_{GS}) wird näherungsweise durch den Abstand zwischen den Signaldrähten und der Hilfselektrode und der Gapweite bestimmt. In diesem Abstand von den Signaldrähten (Abb. 35) wird das elektrische Feld sehr gut durch das Feld eines Plattenkondensators beschrieben.

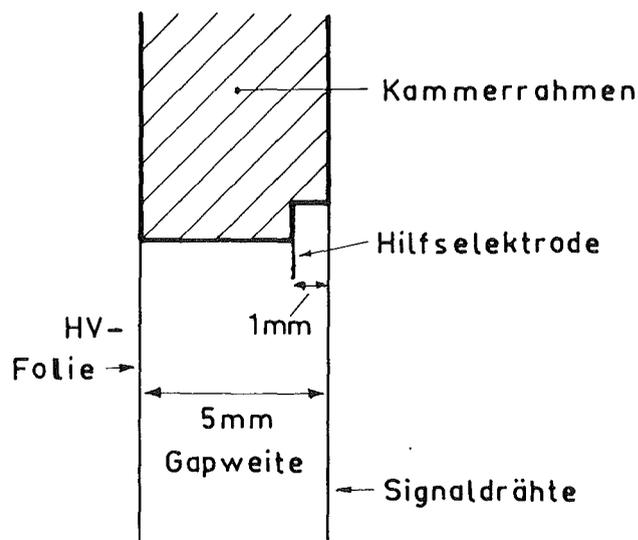


Abb. 35 : Anordnung der Hilfselektroden

Für unsere Kammer gilt somit:

$$U_{GS} = \frac{U_{HV}}{5} \cdot 1 \quad \text{Gl. 5.1}$$

d.h. bei einer Hochspannung von -5 kV muß man an die Hilfselektroden -1 kV anlegen.

Wir haben die Nachweiswahrscheinlichkeit der Kammer an verschiedenen Orten der Ausleseebene bei verschiedenen Guardspannungen gemessen (Homogenitätsmessung). Dabei gelangten wir zu der Erkenntnis, daß das Anlegen dieser Guardspannung weder die Homogenität noch die Betriebssicherheit der Kammer sichtbar verbessert.

Aus diesem Grunde legten wir während der Datennahme keine Spannung an die Hilfselektroden.

Neuerdings verzichtet man sogar im Kammerbau im Allgemeinen auf diese Hilfselektroden, da Verschmutzung z.B. durch Flußmittel, häufig zu Kriechströmen zwischen den Hilfselektroden und den Auslesedrähten führen.

5.2 Die Datennahme

Mit den ermittelten Betriebsparametern (Gatebreite = 60 nsec, Verzögerung = 15 nsec und einem Gasgemisch aus 65 % Argon, 30 % Isobutan und 5 % Methylal) wurde ein "Test-Run" durchgeführt. Die Schwelle wurde dabei so hoch gesetzt, daß das Plateau erst bei einer Spannung von -4,8 kV erreicht wurde. Die Kammer betrieb man damit im Bereich der begrenzten Proportionalität (siehe Stromkurve Abb. 26). In dieser Betriebsart haben alle Kammerpulse annähernd gleiche Amplituden und Anstiegszeiten, was den "Zeit-Jitter" der Pulse stark verringert und ein schmales Gate erlaubt.

In diesem "Test-Run" wurden Kammerdaten für verschiedene Moderatorstärken bei konstanter Hochspannung und für verschiedene Hochspannungen bei konstanter Moderatorstärke auf Magnetband aufgezeichnet.

Dazu wurde folgender Trigger aufgebaut:

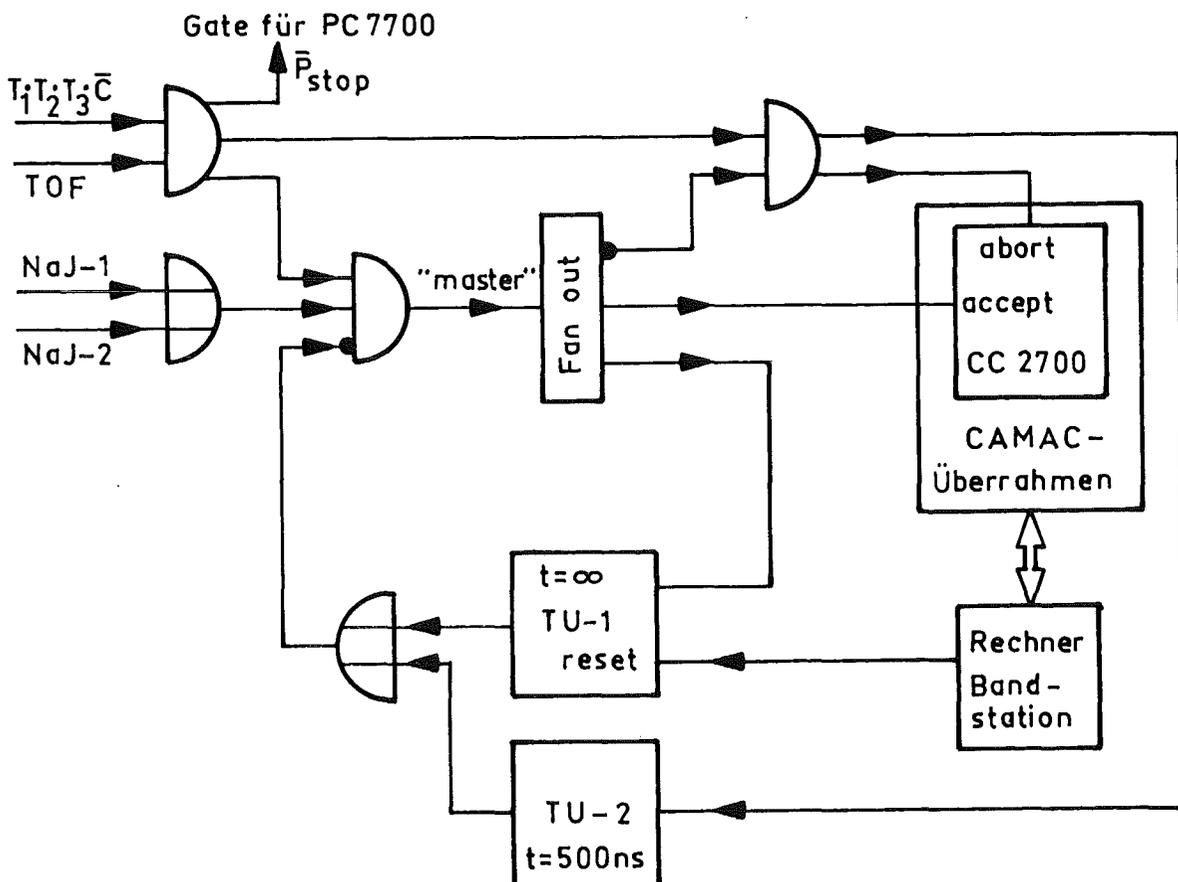


Abb. 36: Trigger zur Datennahme

Die Koinzidenz zwischen dem Teleskop ($T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot \bar{C}$) und dem Flugzeitzähler (TOF) bildete den \bar{p}_{Stopp} -Trigger und lieferte das Gate-Signal für die PC 7700 Karten. Lieferten weder NaJ-1 noch NaJ-2 (Kap. 1.2) ein Signal, so sorgte die "Timing-Unit" TU-2 für eine Totzeit von 500 nsec. In dieser Zeit erhielt der CAMAC-Kontroller 2700 ein "Abort-Signal" und löschte daraufhin den Inhalt sämtlicher PC 7700 Koinzidenzregister. Hatte jedoch der Zähler NaJ-1 oder NaJ-2 oder auch beide Zähler gleichzeitig angesprochen, so wurden die Kammerdaten gelesen und auf Magnetband geschrieben. In diesem Fall setzte am Ende des Auslesezyklus der Rechner TU-2 zurück und hob somit die Totzeitschaltung auf.

Die Auswertung der Magnetbanddaten wird im nächsten Kapitel beschrieben.

6. AUSWERTUNG

Zur Auswertung der auf Magnetband gespeicherten Daten mußte ein Auswerteprogramm geschrieben werden. Zur Durchführung dieser Auswertung standen die Großrechner IBM 3033 und M 168 im Rechenzentrum des Kernforschungszentrums Karlsruhe zur Verfügung. Deshalb mußten die PDP11-Daten zuerst auf IBM-Form gebracht werden (Kapitel A2).

Die Hauptaufgabe bei dieser Auswertung war das Erstellen eines "Off-Line-Programmes" zur Rekonstruktion der \bar{p} -Trajektorien aus den gespeicherten Kammerdaten. Mit Hilfe dieses Programmes, das im Anhang in Kapitel A1 aufgelistet ist, wurden auch einige Untersuchungen am Kammer selbst, sowie am Teilchenstrahl vorgenommen.

6.1 Untersuchungen des Kammer systems

6.1.1 Die Nachweiswahrscheinlichkeit

Wie im Kapitel 5 bereits erwähnt, ließ sich "On-Line" am \bar{p} -Strahl keine korrekte quantitative Aussage über die Nachweiswahrscheinlichkeit des Kammer systems machen. Deshalb wurden Kammerdaten bei verschiedenen Hochspannungen auf Magnetband aufgezeichnet.

a) Die Totale Nachweiswahrscheinlichkeit:

Als "Totale Nachweiswahrscheinlichkeit" (ϵ_{tot}) des Kammer systems definierten wir das Verhältnis von rekonstruierten \bar{p} -Flugbahnen (siehe S. 55) zu Anzahl der Master-Trigger. Als Master-Trigger wurden solche Ereignisse bezeichnet, bei denen ein \bar{p}_{Stopp} -Trigger (Abb. 36) vorlag und gleichzeitig mindestens ein NaJ-Kristall angesprochen hatte.

$$\epsilon_{\text{tot}}(\%) = \frac{\text{Anzahl der rekonst. Trajektorien}}{\text{Anzahl der Master-Trigger}} \cdot 100\%$$

GL. 6.1

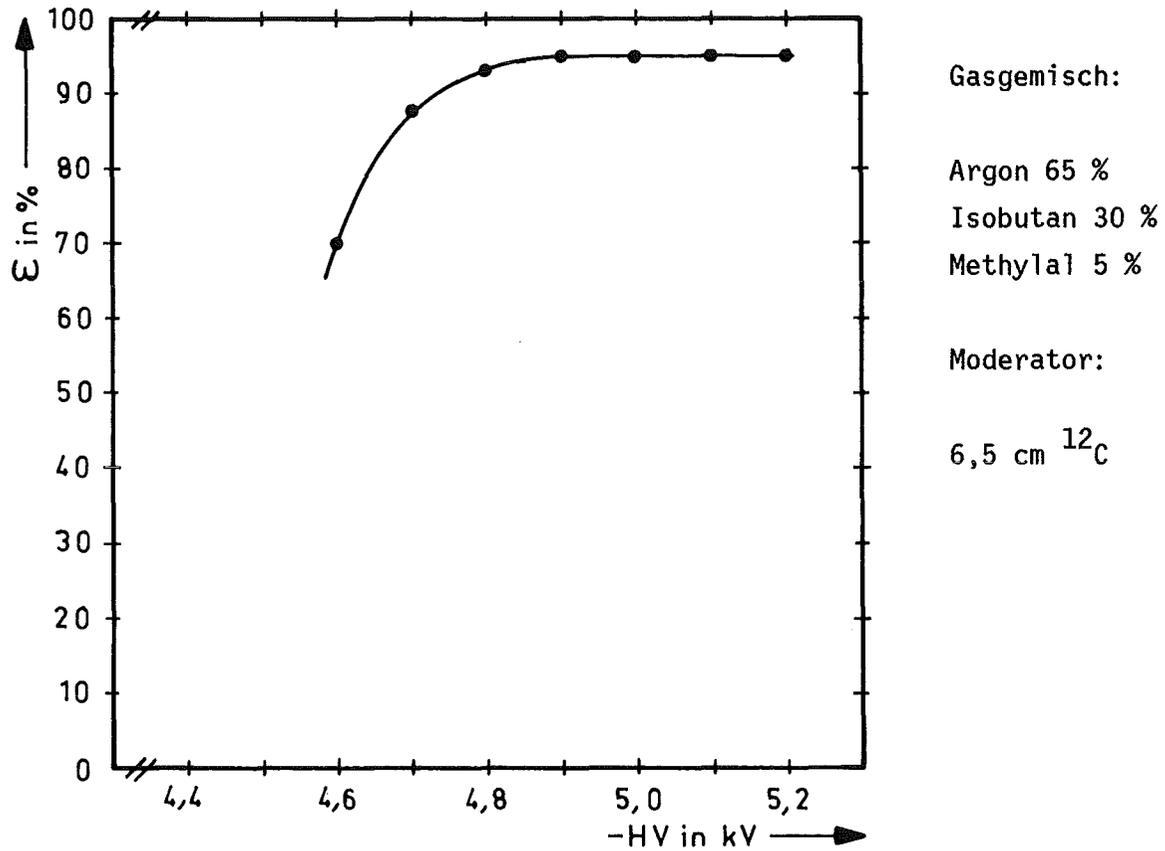


Abb. 37: Totale Nachweiswahrscheinlichkeit (Efficiency)_{tot} als Funktion der Hochspannung

Aus Abb. 37 erhält man eine maximale "Totale Nachweiswahrscheinlichkeit" des Kammersystems von ca. 95 %.

Die Nachweiswahrscheinlichkeit wurde als Funktion der Hochspannung bei der maximalen Schwelle der Ausleseelektronik (ca. $-15 \mu\text{A}$) gemessen. Aus der Stromkurve (Abb. 26) entnimmt man, daß dieser Strom erst bei einer Spannung von $-4,5 \text{ kV}$ überschritten wird. Dadurch erklärt sich auch das späte Einsetzen des Plateaus in Abb. 37.

b) Nachweiswahrscheinlichkeit der einzelnen Ebenen:

Zur Festlegung der Flugbahnen sind Informationen von beiden Kammern erforderlich. Würde man nun zur Trajektorienberechnung fordern, daß in jeder Ebene genau ein Draht gefeuert hat und wären sämtliche Ebenen identisch, so hätte jede einzelne Kammer theoretisch eine Nachweiswahrscheinlichkeit von $\sqrt{0,95} = 0,975$.

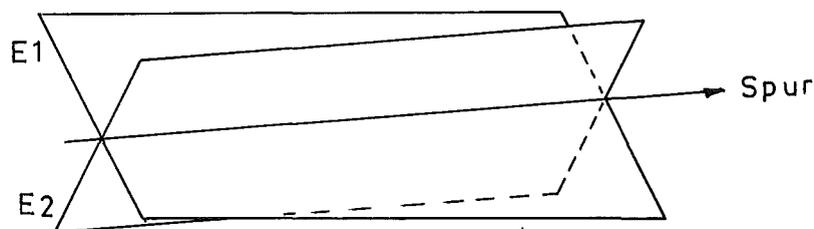
Kurze Beschreibung der Flugbahnrekonstruktion:

Fliegt ein \bar{p} durch das Kammerensystem und ist die Triggerbedingung (Kap. 5.2) erfüllt, so öffnet der Gatepuls die Ausleseelektronik für ca. 60 nsec. Während dieser Zeit werden sämtliche in dem Kammerensystem erzeugte Signale von der Elektronik registriert und abgespeichert (siehe auch S. 46).

Das im Anhang beschriebene Flugbahn-Rekonstruktionsprogramm wählt nun aus diesen Daten diejenigen Drahtadressen (Clusterzentren) aus, die eine Flugbahn definieren (siehe Kap. A2).

Erhält man weniger als 5 Drahtadressen, so wird dieses Ereignis verworfen.

Nehmen wir z.B. an, man erhält 5 ausgewählte Drahtadressen (2 in der einen und 3 in der anderen Kammer), d.h. in der einen Kammer fehlt die Information einer Ebene, dann wird die Flugbahn folgendermaßen berechnet: Durch die parallelen Drähte in der 1. und 2. Kammer werden Ebenen (E1, E2) gelegt. In diesem speziellen Fall erhält man 2 Ebenen. Die Schnittgerade dieser Ebenen definiert, mit dem Fehler der Ortsauflösung der Kammern, die Flugbahn.



Hat man dagegen 6 ausgewählte Drahtadressen (3 je Kammer), so erhält man auch 3 Ebenen die miteinander geschnitten werden können und somit auch 3 mögliche Spurgeraden. Die arithmetischen Mittel der Komponenten von allen 3 Spuren definieren die wahrscheinlichste Trajektorie. Eine detailliertere Beschreibung befindet sich im Anhang.

Unsere Forderung zur Trajektorienberechnung war, daß mindestens 5 Ebenen angesprochen hatten. Deshalb kann die Nachweiswahrscheinlichkeit der beiden MWPCs unterschiedlich sein.

Wir bestimmten die Nachweiswahrscheinlichkeit der einzelnen Ebenen, in dem wir abfragten, ob die entsprechende Ebene zur Flugbahnbestimmung beigetragen hatte oder nicht.

Dabei erhielten wir folgendes Ergebnis:

Ebene	Nachweiswahrscheinlichkeit in %
E1	98,6
E2	99,5
E3	99,7
E4	97,4
E5	98,8
E6	99,5

Tabelle 6.1

Man erkennt, daß die Daten nicht identisch sind, was auf kleine Unterschiede in der Konstruktion schließen läßt. Die Nachweiswahrscheinlichkeit eines Systems aus mehreren Ebenen erhält man durch Multiplikation der Einzel-Nachweiswahrscheinlichkeiten.

E1·E2	E1·E3	E2·E3	E1·E2·E3	E4·E5	E4·E6	E5·E6	E4·E5·E6
98,1	98,3	99,2	97,8	96,3	96,9	98,3	95,7

Tabelle 6.2: Kombination verschiedener Ebenen und daraus resultierende Nachweiswahrscheinlichkeiten in %

Für den Fall, daß in beiden Kammern alle Ebenen angesprochen haben, erhält man aus Tabelle 6.2 für die Nachweiswahrscheinlichkeit des Systems 94 %. Greift man dagegen den Fall heraus, in dem in der 1. Kammer alle Ebenen, in der 2. Kammer aber nur E5 und E6 angesprochen haben, so erhält man 96 %.

Die einzelnen Kombinationsmöglichkeiten der Ebenen müssen so gewichtet werden, daß man unter Berücksichtigung aller Möglichkeiten und bei guter Statistik eine Nachweiswahrscheinlichkeit von 95 % erhält.

Die Begrenzung der "Totalen Nachweiswahrscheinlichkeit" des Kammerystems auf 95 % ist vor allem auf den Verarbeitungsmodus der Kammerinformation zurückzuführen.

Bereits bei der Kammerauslese gingen bis zu 3 % der Information verloren, weil Ereignisse mit mehr als 12 Kammerwörtern als nicht auswertbar gekennzeichnet wurden.

Im Auswertprogramm werden Ereignisse verworfen, bei denen weniger als 5 Ebenen angesprochen haben, weil sonst bei dem verwendeten Algorithmus keine Bestimmung der Trajektorien möglich wäre. Jedoch geht dadurch im Plateau-Bereich sehr wenig Information verloren, was aus Abb. 38 ersichtlich ist.

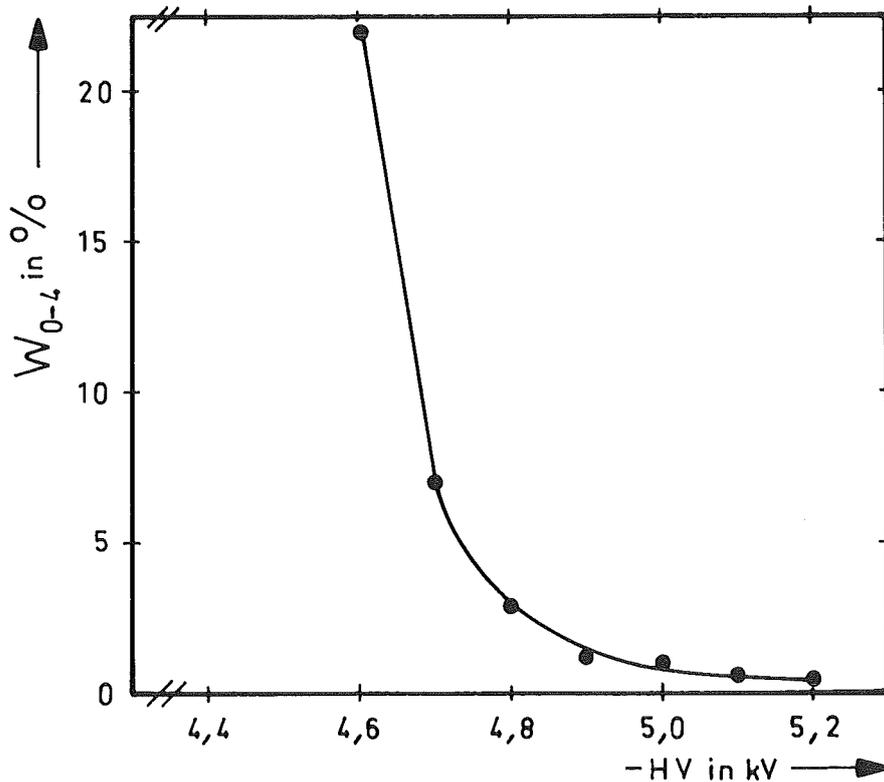


Abb. 38: Ereignisse mit weniger als 5 angesprochenen Ebenen (W_{0-4}), als Funktion der Kammerhochspannung

6.1.2 Die Ortsauflösung

a) Ortsauflösung der einzelnen Ebenen:

Zur Bestimmung der Ortsauflösung der einzelnen Ebenen wurde wieder das Trajektorien-Rekonstruktionsprogramm (Kap. A.1) verwendet. Doch wurde hierzu das Programm soweit abgeändert, daß es zusätzlich noch den Durchstoßpunkt der rekonstruierten Flugbahn durch die Kammerebenen bestimmte. Zudem berechnete es den Abstand zwischen dem Durchstoßpunkt und dem gefeuerten Draht (Clustermittelpunkt) der entsprechenden Ebene. Es wurden nur jene Drahtadressen zur Abstandsberechnung herangezogen, die auch die Flugbahn definierten.

Da die positiven und negativen Abstände gleich wahrscheinlich waren, erwartete man eine Normalverteilung (Gaußverteilung) der berechneten Abstände.

Der in Abb. 39 dargestellte "Computer-Plot" zeigt als Beispiel die Ortsauflösung der 4. Ebene (1. Ebene in der 2. Kammer).

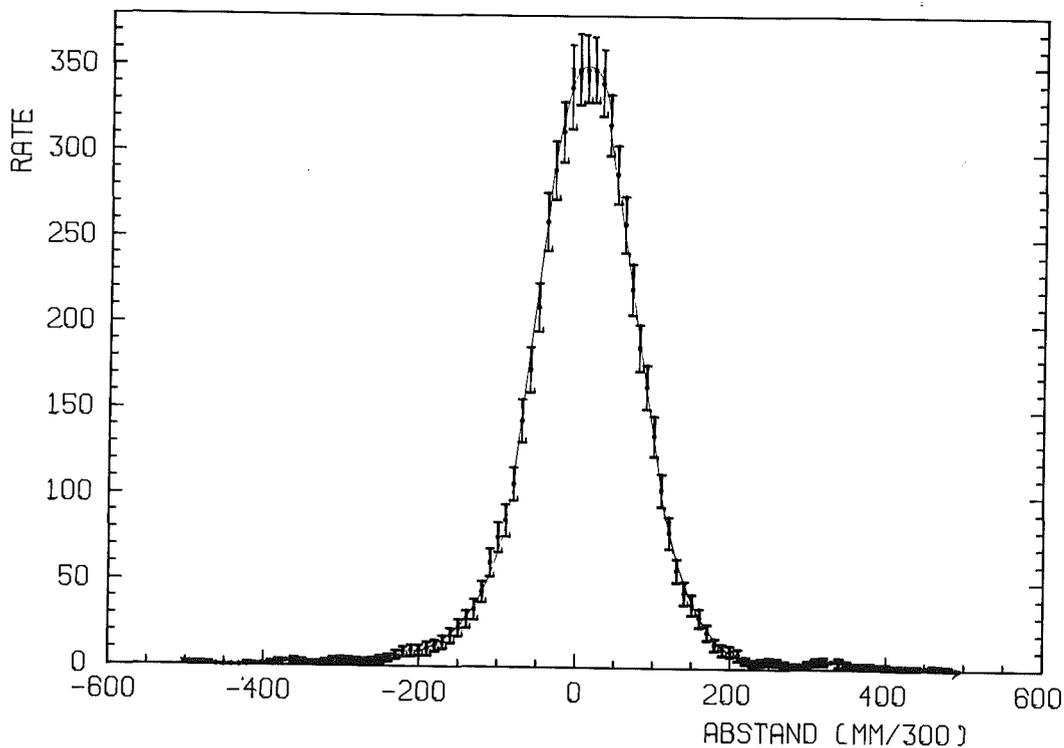


Abb. 39: Ortsauflösung der 4. Ebene (E4)

FWHM = 0,42 mm

Solche Plots wurden für sämtliche Ebenen erstellt und daraus die Halbwertsbreite (FWHM) der Abstandsverteilung bestimmt.

Die Ortsauflösung ist durch die Standardabweichung (s) dieser Verteilungsfunktion gegeben.

Bei einer Gaußverteilung gilt zwischen FWHM und Standardabweichung folgende Beziehung:

$$\text{FWHM} = 2\sqrt{2\ln 2} \cdot s = 2,355s \quad \text{Gl. 6.2}$$

Kammer	1			2		
Ebene	E1	E2	E3	E4	E5	E6
FWHM (mm)	0,48	0,40	0,34	0,42	0,52	0,42
s (mm)	0,20	0,17	0,14	0,18	0,22	0,18

Tabelle 6.3: Ortsauflösung (s) der Ebenen

Diese hervorragende Ortsauflösung wurde vor allem durch den sehr kleinen Drahtabstand von 1 mm und das Verwenden von 6 Auleseebenen erreicht.

b) Rekonstruktionsgenauigkeit der Flugbahnen:

Die Genauigkeit, mit der der Annihilationsort in der Targetmitte bestimmt werden kann, hängt von der Anzahl der angesprochenen Ausleseebenen ab. Denn die Flugbahnen werden bestimmt, indem durch die ausgewählten parallelen Drähte der 1. und 2. Kammer Ebenen gelegt und diese zum Schnitt gebracht werden (siehe S. 55 u. Kap. A2). Man erhält somit maximal 3 mögliche Spurgeraden. Als Flugbahn definieren wir das arithmetische Mittel der Richtungskosinuse und Koordinaten dieser Spurgeraden.

In den Gleichungen für x_1 , x_2 und x_3 (Kap. A1, A2) wurde die y-Koordinate (Abb. 8 S. 13) gleich 470 mm gesetzt (Targetmitte) und dann die Gleichungen für die x- und z-Koordinaten als Funktion der Drahtadressen (a_i) aufgestellt.

$$y = 470 \text{ mm}$$

$$x = f(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6) \quad \text{Gl. 6.3}$$

$$z = f(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6) \quad \text{Gl. 6.4}$$

Die Ortsauflösung in der Targetmitte erhält man dann aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz von Gauß.

Für den Größtfehler erhält man damit:

$$s_x = \pm \left(\left| \frac{\partial x}{\partial a_1} \cdot s_1 \right| + \left| \frac{\partial x}{\partial a_2} \cdot s_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial x}{\partial a_6} \cdot s_6 \right| \right) \quad \text{Gl. 6.5}$$

$$s_z = \pm \left(\left| \frac{\partial z}{\partial a_1} \cdot s_1 \right| + \left| \frac{\partial z}{\partial a_2} \cdot s_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial z}{\partial a_6} \cdot s_6 \right| \right) \quad \text{Gl. 6.6}$$

Dabei sind:

- a_i : die Variable der Drahtadresse
- s_i : die Ortsauflösung (Standardabweichung) der einzelnen Ebenen
- $i = 1, 2, \dots, 6$

Mit den Werten aus Tabelle 6.3 für s ergibt sich eine Genauigkeit für den Annihilationsort in der Targetmitte von:

$$\text{in x-Richtung: } s_x = \pm 2,2 \text{ mm}$$

$$\text{in z-Richtung: } s_z = \pm 2,0 \text{ mm}$$

Die allein durch die endliche Ortsauflösung des Kammersystems bedingte Unsicherheit in der Rekonstruktion der \bar{p} -Flugbahnen, beträgt somit in der Mitte des Targets etwa ± 2 mm (vergl. Kapitel 7).

Die durch die Auflösung des Kammersystems bedingte Ungenauigkeit im Winkel beträgt somit maximal 0,27 Grad.

6.1.3 Die Clusterverteilungen

a) Abhängigkeit der Clusterbreite von der Hochspannung:

Die Clusterbreite (siehe S. 38) wird in erster Linie durch die Gate-Breite der Ausleseelektronik festgelegt. Entspricht die Gate-Breite der Zeitauflösung der Kammer, so ist die Clusterbreite fast ausschließlich gleich 1. Wählt man aber, wie in der Praxis üblich, ein breiteres Gate, so wird die Clusterbreite zusätzlich vom Winkel der Flugbahn des primär ionisierenden Teilchens gegen die Kammerachse und von der angelegten Hochspannung abhängen.

Abb. 40 zeigt die Abhängigkeit der Clusterbreiten als Funktion der Hochspannung, bei einer konstanten Gate-Breite von 60 nsec, was etwa der 5-fachen Zeitauflösung der Kammer entspricht.

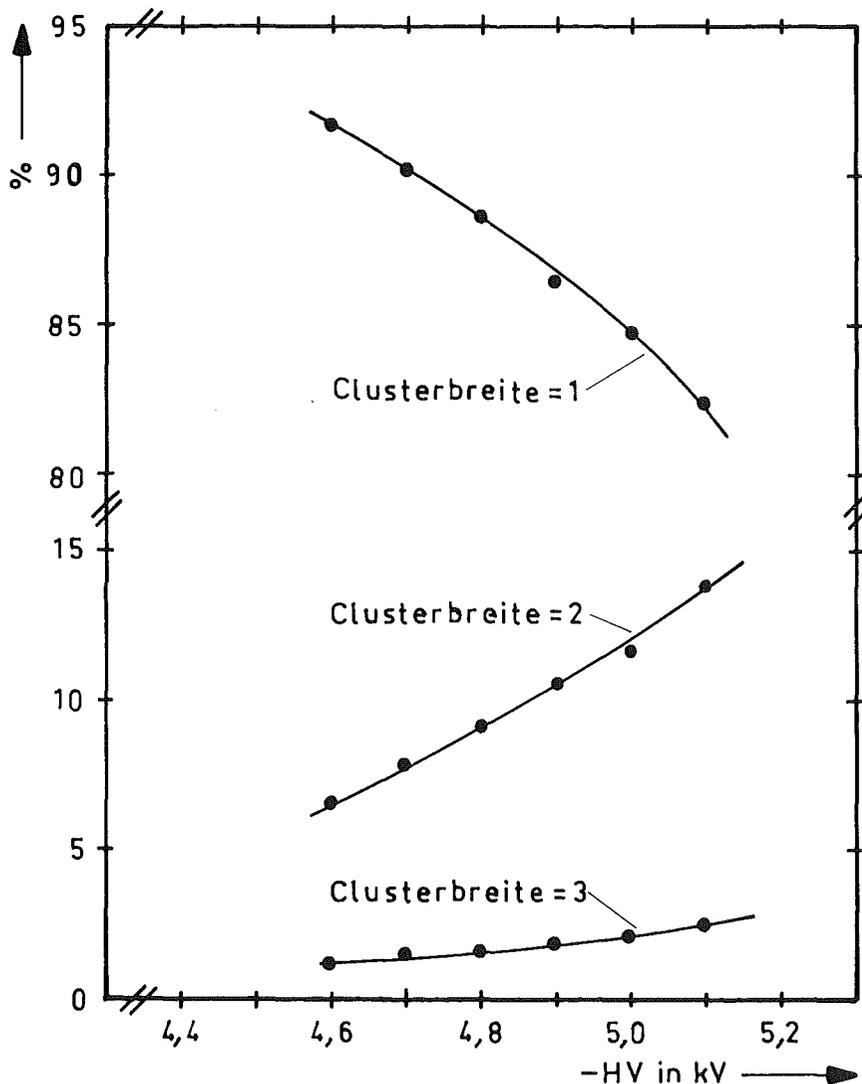


Abb. 40: Häufigkeit der Clusterbreiten 1, 2 u. 3 als Funktion der Hochspannung

Zur Erklärung der Abhängigkeit der Clusterbreite von der Hochspannung betrachte man ein schräg durch die Kammer fliegendes Teilchen (Abb. 41), das mehrere Zellen durchläuft.

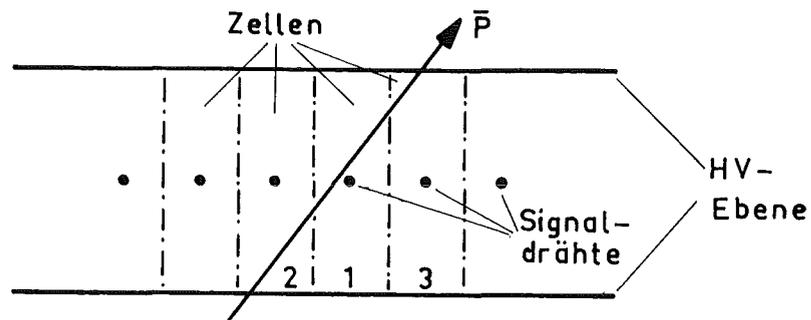


Abb. 41: Gegen die Kammerachse geneigte Flugbahn durch mehrere Zellen

Auf Grund der verschieden langen Driftwegen wird der Auslesedraht in der Zelle Nr. 1 als erster ein Signal liefern, danach folgt das Signal aus Zelle 2 und zuletzt aus Zelle 3. Die zeitliche Korrelation dieser Signale gegenüber dem Gate-Signal zeigt Abb. 42. Aus ihr wird auch ersichtlich, daß nur das Signal aus der ersten Zelle ausgelesen wird.

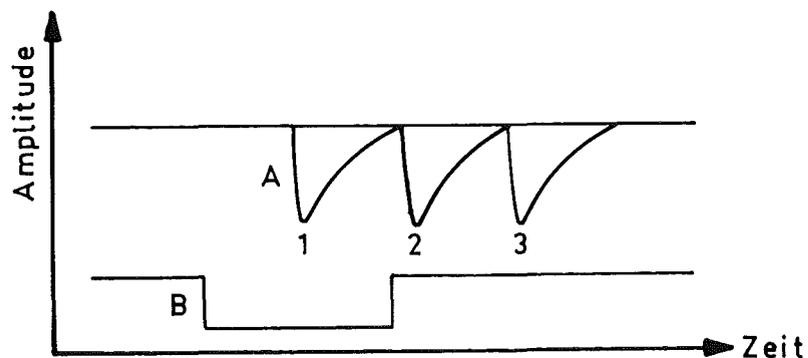


Abb. 42: Zeitliche Korrelation zwischen den Kammer-Signalen und dem Gate-Puls

A: Kammer-Signale; B: Gate-Puls

Erhöht man nun die Hochspannung und somit das elektrische Feld in der Kammer, so erhöht sich auch die Driftgeschwindigkeit der positiven Ionen und der Elektronen. Denn die Driftgeschwindigkeit der positiven Ionen

$$w^+ = \mu^+(E/p) \quad \text{Gl. 6.7}$$

(p = Druck des Kammergases)

ist proportional der reduzierten Feldstärke (E/p) und der vom Gasgemisch abhängigen Beweglichkeit μ^+ .⁵⁾

Die Driftgeschwindigkeit der Elektronen

$$w^- = e/m_e \cdot E \cdot \tau(E) \quad \text{Gl. 6.8}$$

hängt direkt von der Feldstärke, sowie von der mittleren Zeit $\tau(E)$ zwischen zwei aufeinander folgenden Stößen ab.⁵⁾

Deshalb verkleinern sich mit wachsender Hochspannung die zeitlichen Abstände zwischen den Signalen 1, 2 und 3 so, daß zuerst die Signale aus den Zellen 1 und 2 und schließlich, bei genügend hoher Spannung, alle 3 Signale mit dem Gate-Puls in Koinzidenz sind (Abb. 43).

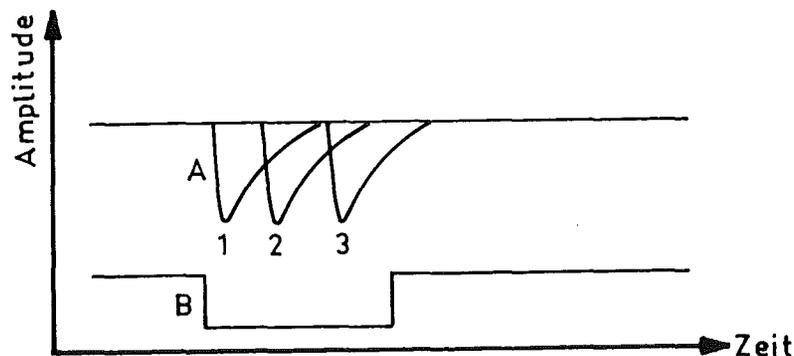


Abb. 43: Die Feldstärke in der Kammer ist bereits so groß, daß alle 3 Drahtsignale mit dem Gate-Pulse zusammenfallen. Die Ausselektronik registriert somit eine Clusterbreite von 3. Aus Geometriegründen (Abb. 40) wird der Draht in Zelle 1 von der Ausselektronik als Clustermittelpunkt definiert.

Die Clusterverteilung wird außerdem noch von der gesetzten Schwelle der Signalverarbeitungselektronik beeinflusst ("Schwellen-Effekt") . Denn das einfallende Teilchen legt in den einzelnen Zellen verschieden lange Wege zurück, deshalb ist auch die Primärionenzahl von Zelle zu Zelle stark unterschiedlich. Im Beispiel der Abb. 41 werden in der Zelle 1 am meisten und in der Zelle 3 die wenigsten Primärionen und Elektronen erzeugt. Da aber der Elektronenvervielfachungsfaktor in allen Zellen gleich ist, schwankt die Signalhöhe in den einzelnen Zellen entsprechend der verschiedenen Primärelektronenzahlen. Bei entsprechend niedriger Hochspannung liegen die Signale der 2. und 3. Zelle unterhalb der Schwelle. Erhöht man nun die Hochspannung so erhöht sich auch der Verfielfachungsfaktor und somit die Signalamplitude bei gleichbleibender Primärionisation, bis schließlich die Signale aus allen 3 Zellen die Schwelle überschreiten. Mit steigender Hochspannung nimmt somit die Clusterbreite ebenfalls zu.

Aber auch δ -Elektronen, können bei genügend hohem Lawinenvervielfachungsfaktor, d. h. bei genügend hoher Spannung, in den Nachbarzellen Signale generieren, die von der Nachfolgeelektronik verarbeitet werden.

b) Abhängigkeit der Clusterbreite von der Dicke des Moderators:

Die Clusterverteilung ist nur indirekt eine Funktion der Moderator- dicke. Denn die Zunahme der Clusterbreiten mit steigender Moderator- dicke (Abb.44), ist in erster Linie auf die Vergrößerung der Streu- winkel zurückzuführen (siehe Kapitel 6.2.5).

Je stärker die Teilchenflugbahn gegenüber der Strahlachse geneigt ist, desto mehr Zellen werden von dem einfallenden Teilchen durch- flogen (Abb. 45), dementsprechend erhöht sich die Clusterbreite.

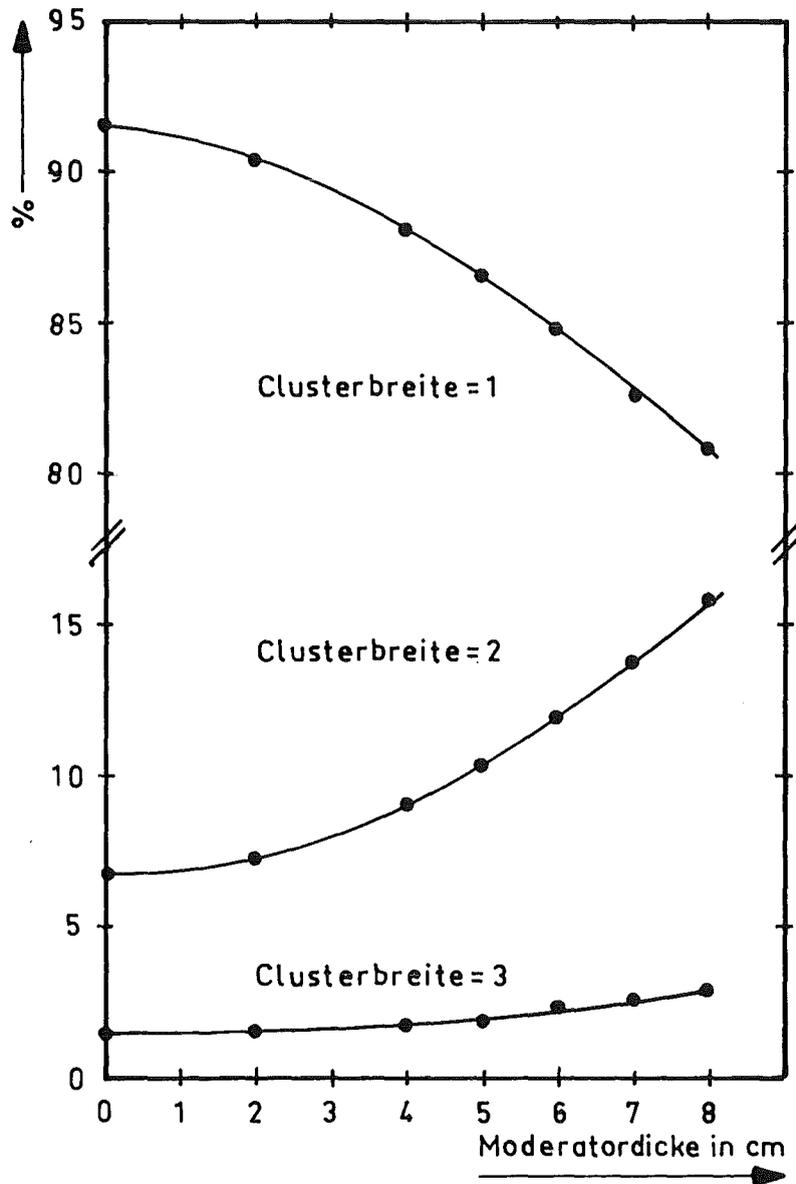


Abb. 44: Abhängigkeit der Clusterbreite von der Dicke des Moderators, bei sonst konstanten Parametern

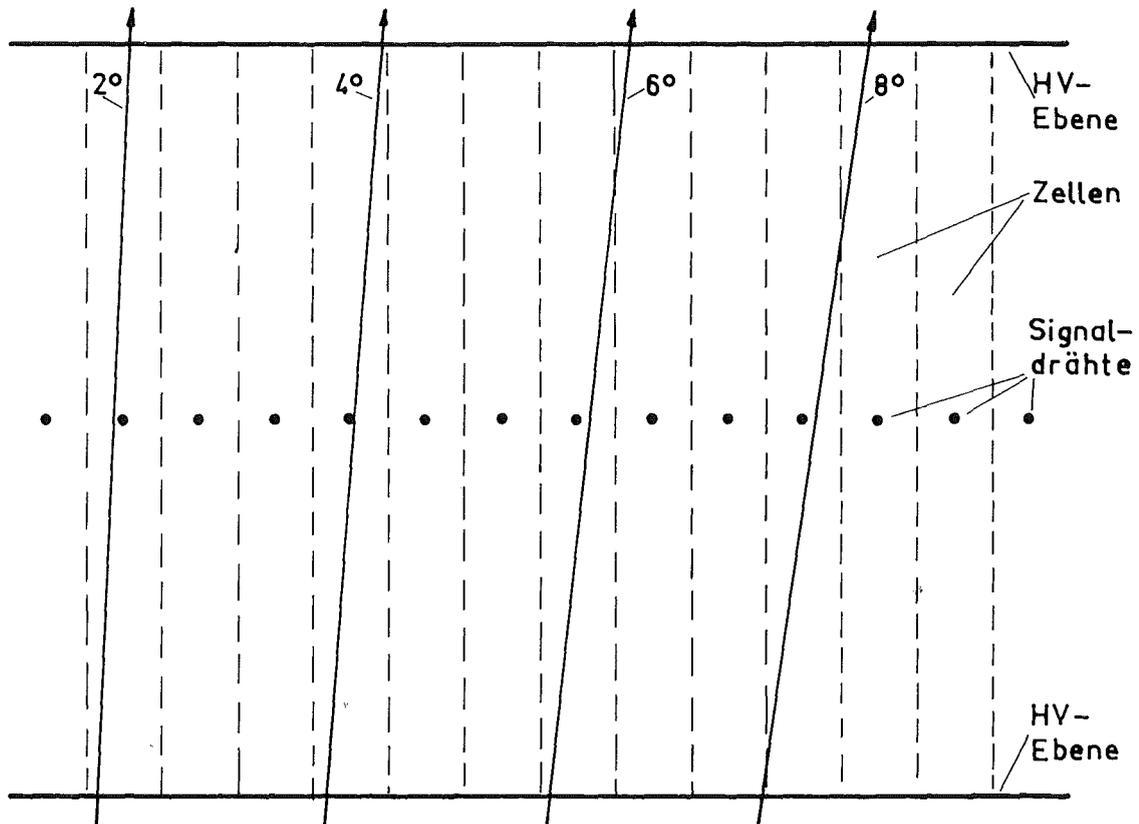


Abb. 45: Teilchenspuren mit verschiedenen Neigungswinkeln ($2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ$)
M.: 10:1

Aus Abb. 45 ist ersichtlich, daß Teilchenspuren mit einem Neigungswinkel bis zu 4° , je nach Auftreffpunkt, eine oder 2 Zellen durchlaufen, während Spuren mit einem Winkel von 6° immer 2 Zellen und Spuren mit einem Neigungswinkel größer als 6° mindestens 2 Zellen durchlaufen.

Außerdem werden mit zunehmender Moderatorstärke die \bar{p} immer stärker abgebremst, dadurch steigt deren Wirkungsquerschnitt und somit die Zahl der primär erzeugten Elektronen und pos. Ionen in der Kammer. Analog zum "Schwellen-Effekt" erhöht sich auch hierdurch die Clusterbreite.

6.2 Die Strahluntersuchungen

6.2.1 Der Energieverlust der \bar{p} beim Durchgang durch die Teleskopzähler

Unmittelbar nach dem Produktionstarget besitzen die \bar{p} einen Impuls von 600 MeV/c $\pm 1,5\%$.

Aus der Gleichung für die relativistische Gesamtenergie

$$W^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4 \quad \text{Gl. 6.9}$$

$$\text{Ruhemasse des } \bar{p}: m = 938,2796 \text{ MeV}/c^2$$

erhält man: $W = (1113,72 \pm 9,7) \text{ MeV}$
und daraus eine kinetische Energie der \bar{p} von

$$W_k = W - mc^2 = (175,44 \pm 9,7) \text{ MeV} \quad \text{Gl. 6.10}$$

Mit dieser Energie treffen die \bar{p} auf das Teleskop, das aus den Plastikszintillationszählern T1, T2, T3, dem Cerenkov-Zähler (Plexiglas), dem Moderator und dem Kammmersystem besteht (Abb. 2).

Die Zählermaterie und vor allem der Moderator sorgen für eine Abbremsung der \bar{p} , sowie für eine Erhöhung des Energie- und Winkelstragglings.

In Tabelle 6.4 sind die mittleren Energieverluste der \bar{p} beim Durchgang durch die einzelnen Absorberschichten aufgeführt. Die Verbreiterung der Energieverteilung (Energie-Stragglings) wurde dabei nicht berücksichtigt. Das Winkelstragglings wird im nächsten Kapitel behandelt.

Die Energieverluste wurden aus den Reichweitentabellen der entsprechenden Materialien berechnet. ¹³⁾

Absorber	Absorbermaterial	Dicke in		Energieverlust	Restenergie
		cm	g/cm ²	ΔE in MeV	E in MeV
Plastikszintillator T1	Polyethylene (CH ₂)	1	0,93	4,844	170,656
Cerenkovzähler C	Plexiglas	5	5,9	31,016	139,640
Plastikszintillator T1	(CH ₂)	1	0,93	5,824	133,816
Moderator	¹² C	6,5	11,38	77,921	55,895
Plastikszintillator T3	(CH ₂)	0,1	,093	0,831	55,064
Kammersystem	siehe Kap. A5	8	,045	0,464	54,600
äußeres Targetfenster	Mylarfolie	,025	,035	0,362	54,238
Superisolationssfolie	100 Schichten aus aluminiumbedampftem 10 μ Mylar			1,691	52,547
inneres Targetfenster	Mylarfolie	,025	,035	0,362	52,185

Tabelle 6.4: Energieverlust der \bar{p} im Teleskop

Aus Tabelle 6.4 ist ersichtlich, daß die \bar{p} bei ihrem Flug durch die Teleskopzähler und den Moderator im Mittel 120 MeV an kinetischer Energie verlieren. Auf dem Weg durch das Kammer-System verlieren sie maximal 0,5 MeV, das sind etwa 0,4% des gesamten Energieverlustes.

Die Abbremsung der \bar{p} im Kammer-System kann deshalb vernachlässigt werden.

Die mittlere Reichweite der 52 MeV Antiprotonen im flüssigen Wasserstoff beträgt noch 15,7 cm.

Da bei der Berechnung der Energieverluste weder die Verbreiterung der Energieverteilung (Energie-Straggling) noch die Auffächerung des Strahles (Winkel-Straggling) berücksichtigt wurde, muß man bei der Abschätzung der Eindringtiefe der \bar{p} in das Flüssig-Wasserstoff-Target, die gesamte Länge des Targets, einschließlich der Kugelkalotten, berücksichtigen. Da die Gesamtlänge des Targets 29,5 cm beträgt, stoppen die \bar{p} genau in der Targetmitte, wenn man zusätzlich noch die Energieverluste der \bar{p} in der Luft und in den Verpackungsmaterialien der Zähler T1, T2, T3 und C berücksichtigt.

Außerdem ist die Dichte von $1,75 \text{ g/cm}^3$ für Kohlenstoff sicher eine untere Grenze, wodurch Dichteschwankungen im Moderator die Reichweite der \bar{p} im Target nur noch verkleinern können.

In Abb. 46 sind die Energieverluste der \bar{p} beim Flug durch das Teleskop graphisch dargestellt. Die Luftschichten zwischen den einzelnen Absorbern sind nicht eingezeichnet, außerdem wurden das Kammer-System und das Target verkürzt gezeichnet.

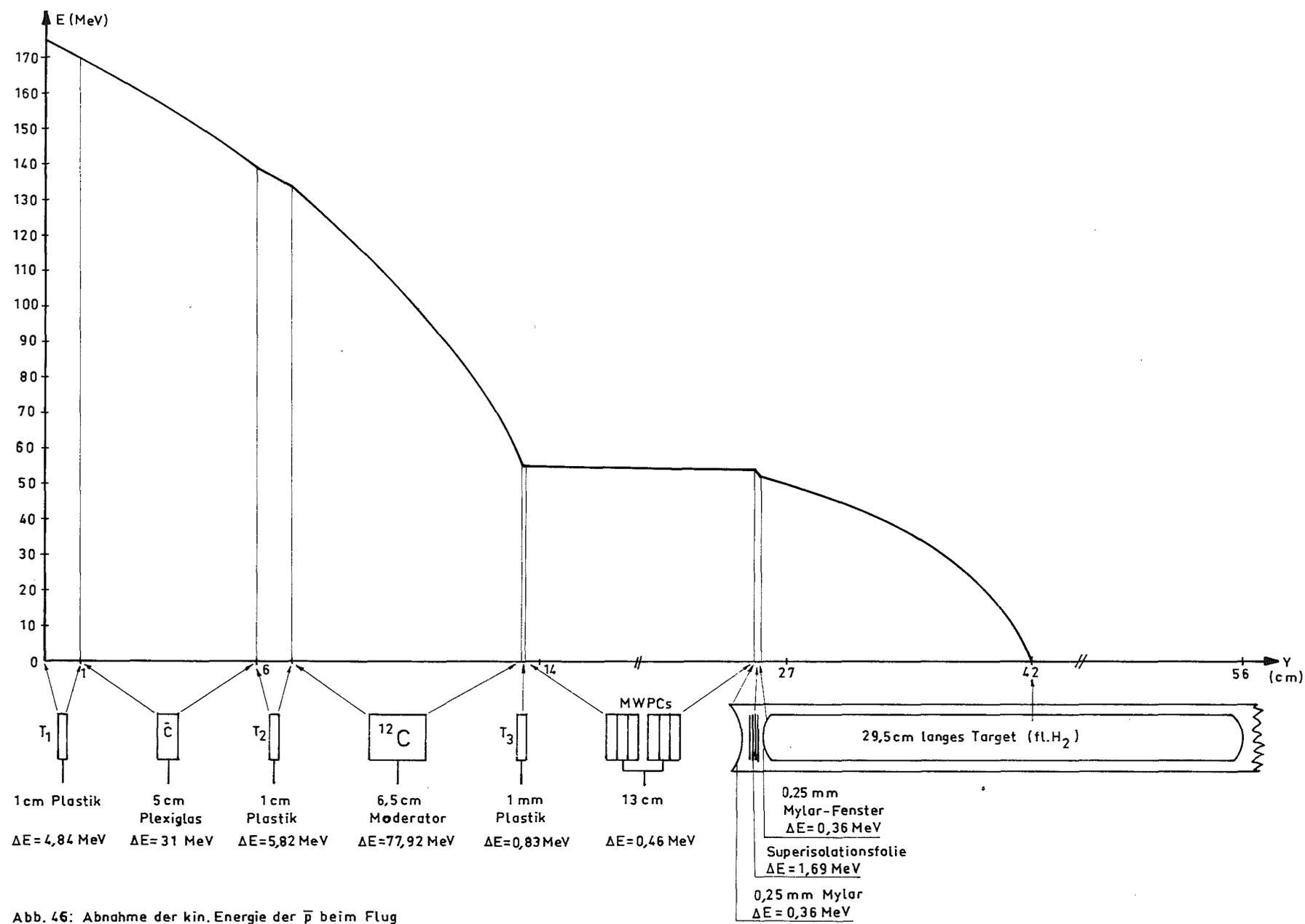


Abb. 46: Abnahme der kin. Energie der \bar{p} beim Flug durch das Teleskop

6.2.2 Die Strahlverteilung

Trägt man die Häufigkeit der Flugbahnen über dem Ort auf, so erhält man eine Aussage über den Querschnitt des Strahles. Die Abbildungen 47 und 48 zeigen die Flugbahnverteilung unseres \bar{p} -Strahles auf dem Weg zwischen Kammeranfang und Targetmitte bei 6,5 cm Kohlenstoff als Moderator. Abb. 49 zeigt die Durchstoßpunkte der \bar{p} durch eine gedachte Ebene in Targetmitte ($y = 470$ mm) senkrecht zur Strahlachse.

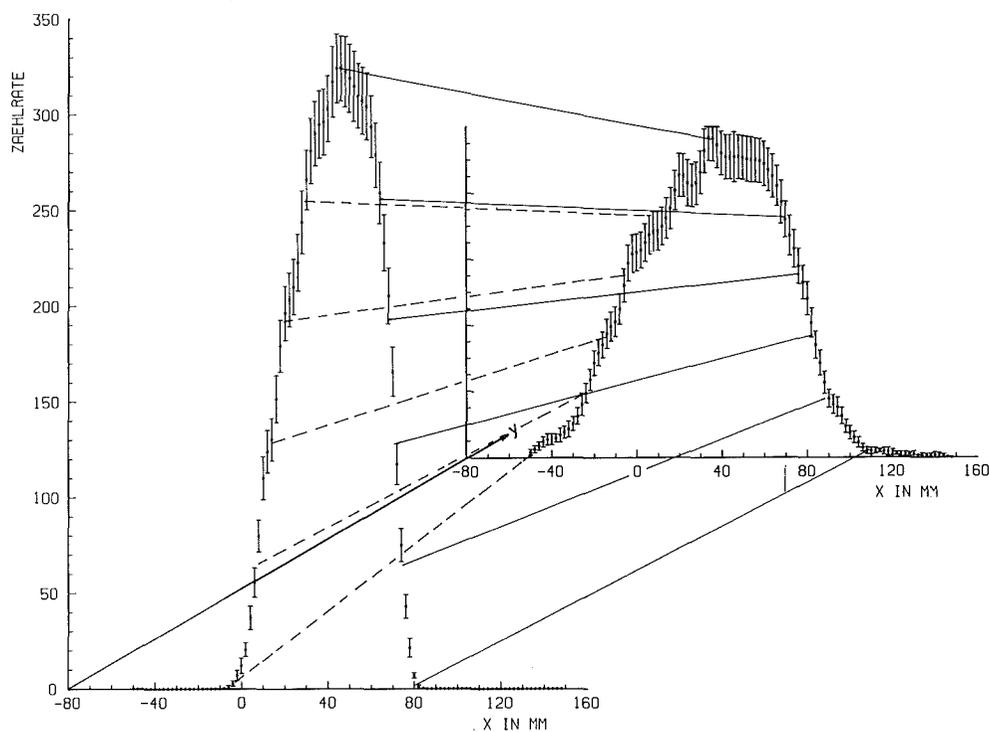


Abb. 47: Horizontale Strahlverteilung

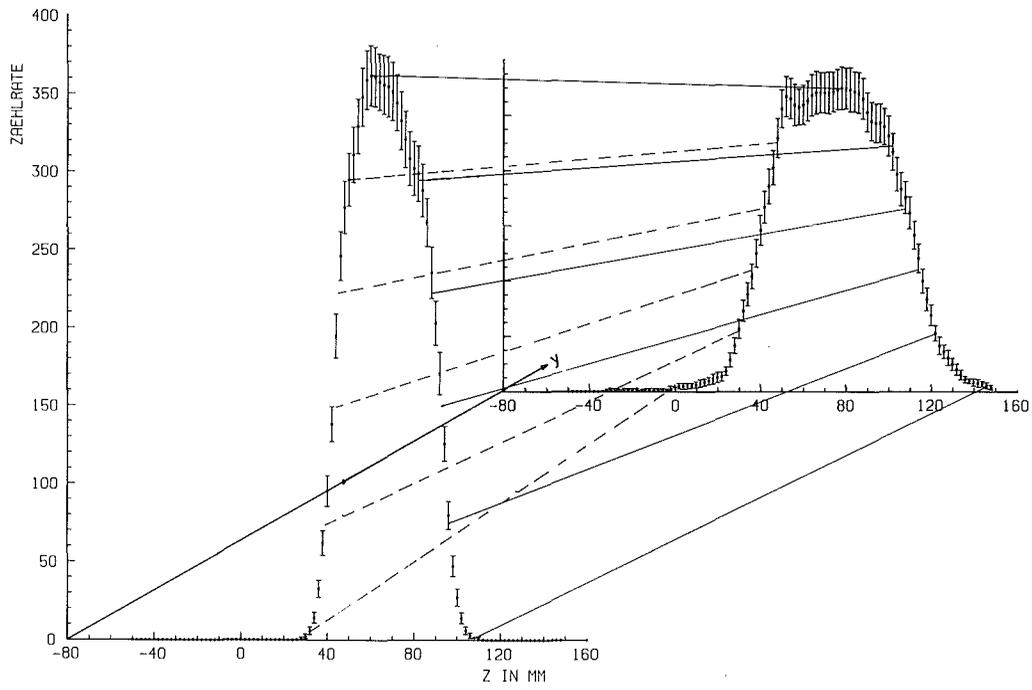


Abb. 48: Vertikale Strahlverteilung

Die in diesem und im vorhergehenden Kapitel gemachten Erkenntnisse erlauben folgende Schlußfolgerung:

Die meisten \bar{p} stoppen innerhalb des Wasserstoff-Targets.

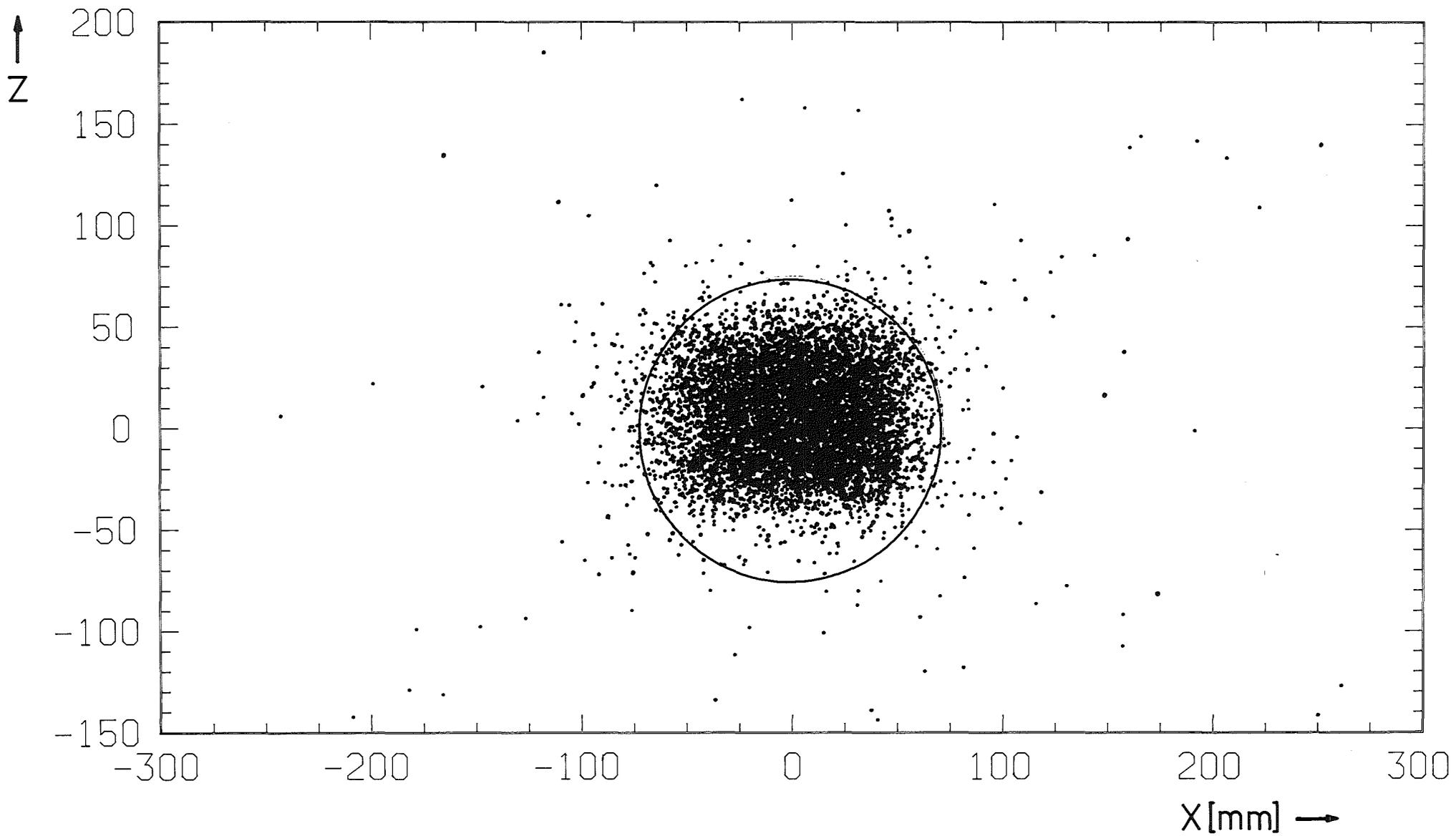


Abb. 49: Durchstoßpunkte der p durch eine gedachte Ebene in der Targetmitte senkrecht zur Strahlachse. Der Kreis deutet den Targetrand an.

6.2.3 Die Kammer-Akzeptanz des Strahl-Phasenraumes

Durch seine endliche geometrische Abmessung stellt das Kammer-System eine physikalische Blende für den Teilchenstrahl dar. Diese annähernd zylinderförmige Blende läßt nur Flugbahnen bis zu einem maximalen Neigungswinkel gegenüber der Strahlachse zu. Dieser Maximalwinkel ist außerdem noch von dem Abstand (Radius) zwischen Flugbahn und Kammermitte abhängig. Das bedeutet, daß der Phasenraum (Winkelverteilung über den Strahlquerschnitt) eines ausgedehnten Strahles vom Kammer-System beschnitten wird.

Die Winkelakzeptanz des Kammer-Systems als Funktion vom Radius wird bestimmt durch die geometrischen Abmessungen des Detektors, die Anordnung der Auslesedrähte und den verwendeten Algorithmus zur Rekonstruktion der Flugbahnen.

Interessant für uns war die Akzeptanz speziell für den \bar{p} -Strahl K 23. Deshalb wählten wir für unsere Akzeptanzberechnung die Strahlmitte am Ende des Moderators (ca. 100 mm vor der Kammer) zum Mittelpunkt. Um diesen Mittelpunkt wurden konzentrische Kreise mit zunehmendem Radius gelegt. Auf diesen Kreisen wurden in 1 Grad-Schritten Startpunkte für Teilchen-Trajektorien, die für verschiedene Neigungswinkel gegenüber der Strahlachse simuliert wurden, angenommen. Von jeder dieser Trajektorie wurden die Durchstoßpunkte in den einzelnen Kammerebenen berechnet. Lagen diese in dem aktiven Bereich einer Kammer, so wurde die Drahtadresse bestimmt und die Flugbahn berechnet. Das Verhältnis der rekonstruierten zu den simulierten Flugbahnen definierte die Akzeptanz.

Damit erhält man die in Abb. 50 dargestellte Akzeptanz als Funktion vom Neigungswinkel und Radius.

Die Akzeptanz ist natürlich abhängig vom Bezugspunkt, um den die konzentrischen Kreise gelegt werden. Liegt dieser Bezugspunkt neben der Kammermittelachse, so wird die Winkelakzeptanz unsymmetrisch, verschiebt man ihn in Richtung Kammer z.B. auf die 1. Ausleseebene, so sieht das Kammer-System auch größere Winkel.

Die eigenwillige Struktur der Akzeptanzlinien wird durch die 6-eckige Form der Kammerebenen und die Anordnung der Auslesedrähte hervorgerufen.

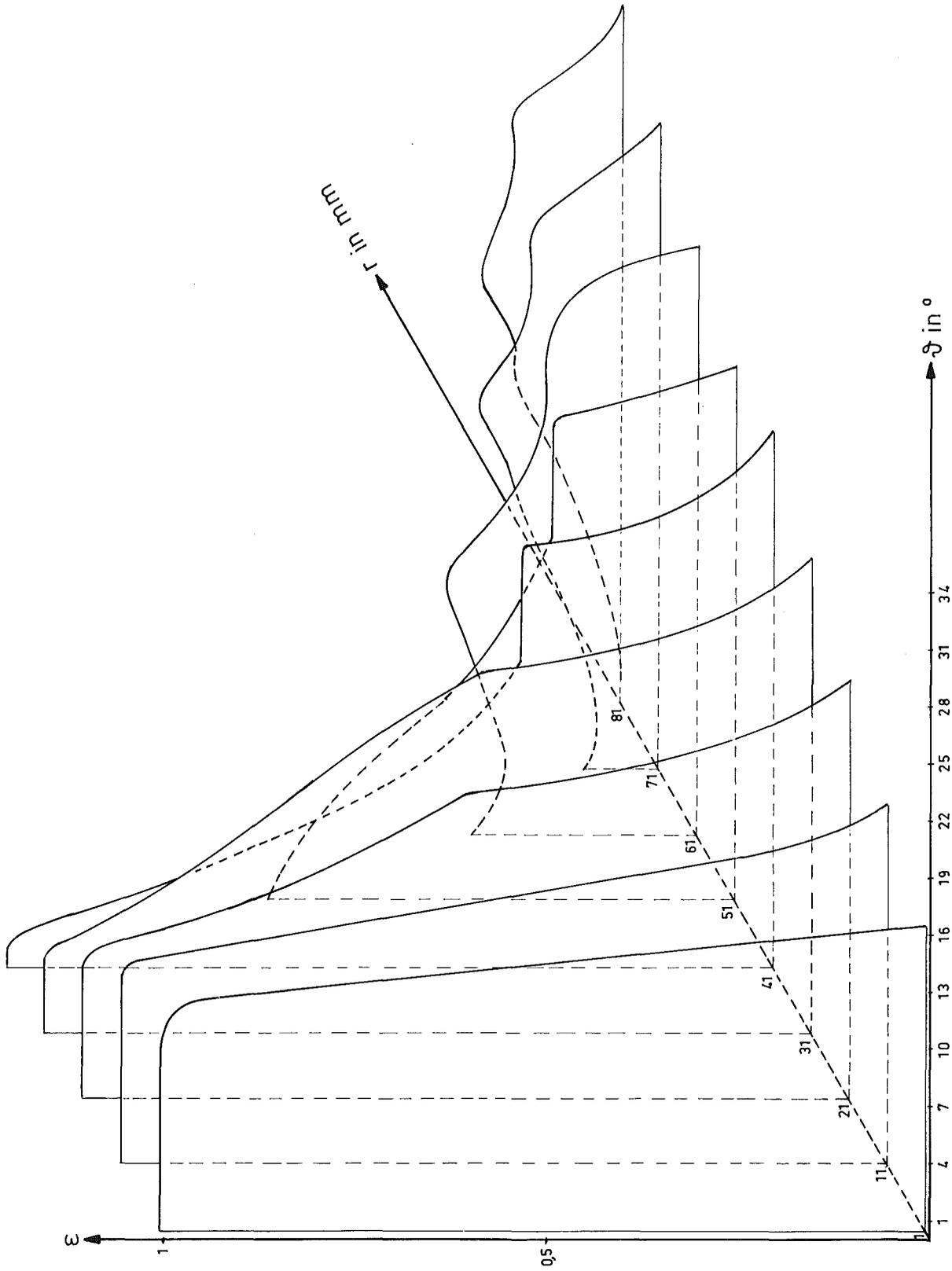


Abb. 50: Akzeptanz ($\epsilon(r, \phi)$) des Kamerasystems

6.2.4 Auswirkung der Kammer-Akzeptanz auf die Messung der Winkel-Aufstreuung

Um die "wahre" Winkelverteilung eines Strahles zu bestimmen, muß die gemessene Winkelverteilung mit der entsprechenden Kammerakzeptanz korrigiert werden.

Zwischen der "wahren" und der gemessenen Winkelverteilung besteht folgender Zusammenhang:

$$N(\vartheta)_{\text{gemessen}} = \varepsilon(\vartheta) \cdot N(\vartheta)_{\text{wahr}} \quad \text{Gl. 6.11}$$

wobei $N(\vartheta)$ die entsprechende Winkelverteilung und $\varepsilon(\vartheta)$ die Kammerakzeptanz darstellt.

In Kapitel 6.2.3 wurde die Kammerakzeptanz ($\varepsilon(r, \vartheta)$) als Funktion von Winkel und Radius bestimmt. Wichtet man diese mit der Strahlverteilung $n(r)$, so erhält man eine Akzeptanz, die nur noch vom Winkel abhängt, allerdings aber nur für diese spezielle Strahlverteilung gültig ist. 14)

$$\sum_i \varepsilon(r_i, \vartheta) \cdot n(r_i) = \varepsilon'(\vartheta) \quad \text{Gl. 6.12}$$

Normiert man $\varepsilon'(\vartheta)_{\text{max}}$ auf 1, so erhält man die Akzeptanz $\varepsilon(\vartheta)$.

Aus Gleichung 6.11 folgt $N(\vartheta)_{\text{wahr}} = \frac{1}{\varepsilon(\vartheta)} N(\vartheta)_{\text{gemessen}}$.

Teilt man die gemessene Winkelverteilung in kleine Winkelintervalle ein und dividiert diese durch das entsprechende $\varepsilon(\vartheta)$, so erhält man die "wahre" Winkelverteilung.

a) Akzeptanz $\varepsilon(\vartheta)$ für die Strahlverteilung ohne Moderator:

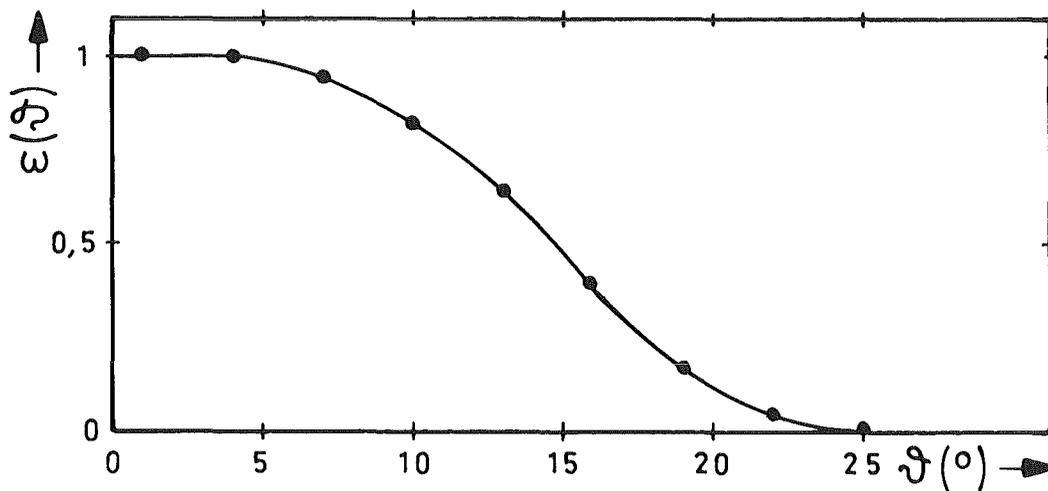


Abb. 51: Akzeptanz $\varepsilon(\vartheta)$, korrigiert auf die Strahlverteilung ohne Moderator.

Da die maximalen im Experiment gemessenen Winkel bei $\vartheta = 7$ Grad liegen und die gemessene Winkelverteilung ihr Maximum bei $\vartheta = 1$ Grad hat, sieht man, daß die Winkelverteilung ohne Moderator nicht vom Kammer-System beschnitten wird.

b) Akzeptanz $\varepsilon(\vartheta)$ für die Strahlverteilung mit 8 cm Graphit als Moderator:

Um $\varepsilon(\vartheta)$ aus Gl. 6.12 zu erhalten, muß man zunächst die "wahre" Ortsverteilung $n(r)$ des Strahles nach 8 cm Moderator kennen.

Dazu wurde die ohne Moderator gemessene Ortsverteilung, die man als wahre Ortsverteilung annehmen kann (siehe a)), für den Durchgang durch 8 cm Moderator korrigiert. Die Ortsverteilung wurde dazu in Intervalle eingeteilt und eine mittlere Vielfachstreuungs-Korrektur eingeführt, was einer Verbreiterung (Spreizung) der einzelnen Intervalle entspricht.

$$\Delta r' = ((r_0 + d \cdot \tan \bar{\vartheta}) / r_0) \cdot \Delta r$$

wobei:

Δr : altes Intervall

$\Delta r'$: gespreiztes Intervall

$r_0 = 27$ mm, Radius beim Maximum der Anfangsverteilung

$d = 40$ mm, halbe Moderatorstärke

$\bar{\vartheta} = 17^\circ$, mittlerer theoretischer Streuwinkel für 8 cm Graphit. 15)

Aus der Forderung nach Flächengleichheit der alten und neuen Intervalle erhält man die neue Ortsverteilung $n'(r)$.

$$n_i \cdot \Delta r = n'_i \cdot \Delta r' \quad \text{Gl. 6.13}$$

$$\Rightarrow n'_i = (n_i \cdot \Delta r) / \Delta r' \quad \text{Gl. 6.14}$$

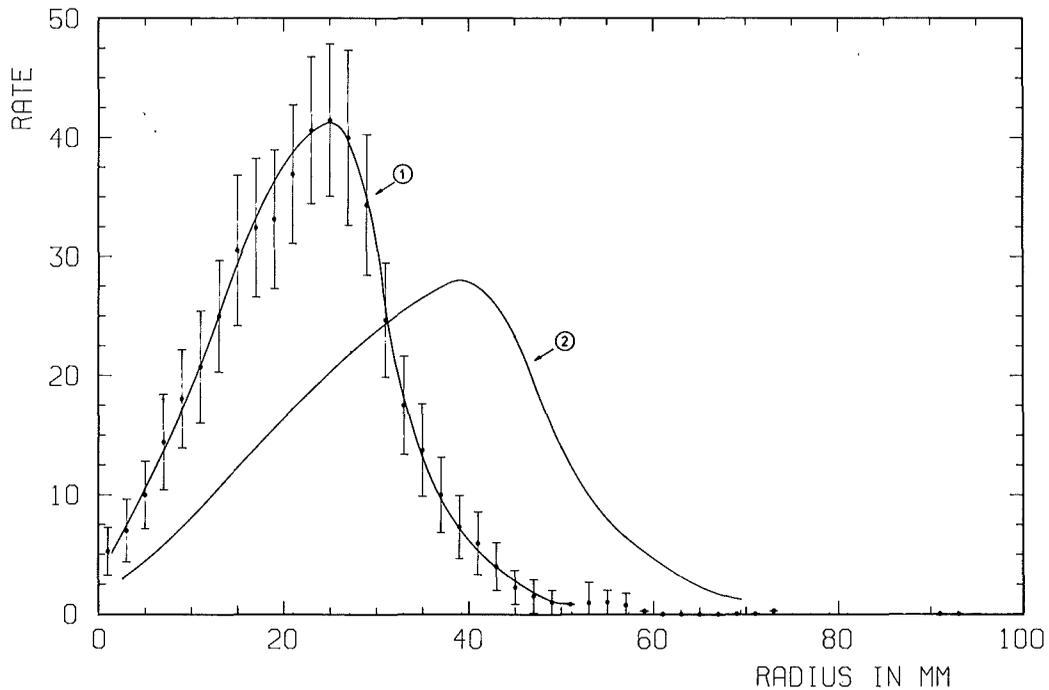


Abb. 52: Ortsverteilung ohne Moderator 1 und die daraus abgeleitete Verteilung $n'(r)$ für 8 cm Moderator 2

Mit der Ortsverteilung $n'(r)$ erhält man die in Abb. 53 dargestellte Akzeptanz. Diese Akzeptanz ist relativ unempfindlich auf Änderungen von $\bar{\sigma}$ im Spreizungsfaktor. Deshalb wirken sich auch Abweichungen der Winkelstragglings-Theorie von der Praxis für große Moderatorordicken kaum aus.

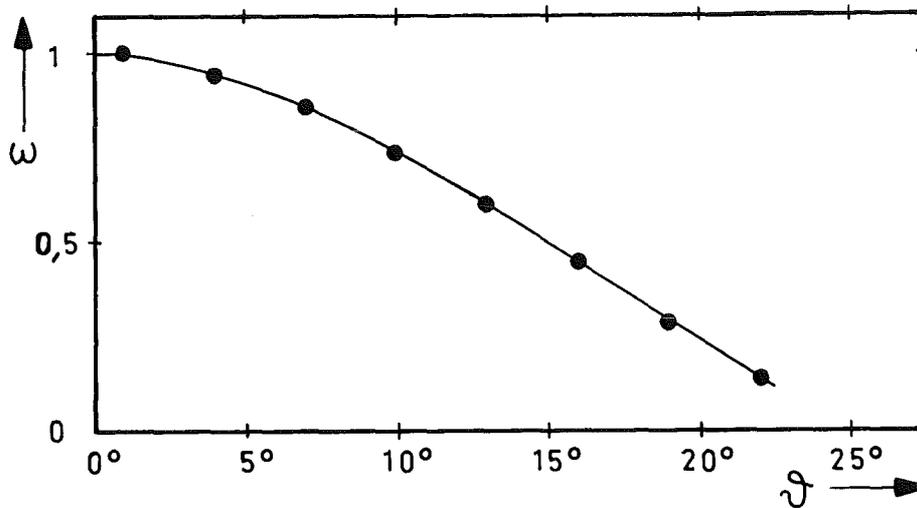


Abb. 53: Kammerakzeptanz für ein durch 8 cm Moderator aufgefächertes Strahlprofil

Die Korrektur der gemessenen Winkelverteilung mit der Akzeptanz wird auch hier wie auf Seite 77 beschrieben durchgeführt.

In Abb. 54 ist die gemessene und die korrigierte Winkelverteilung eingezeichnet.

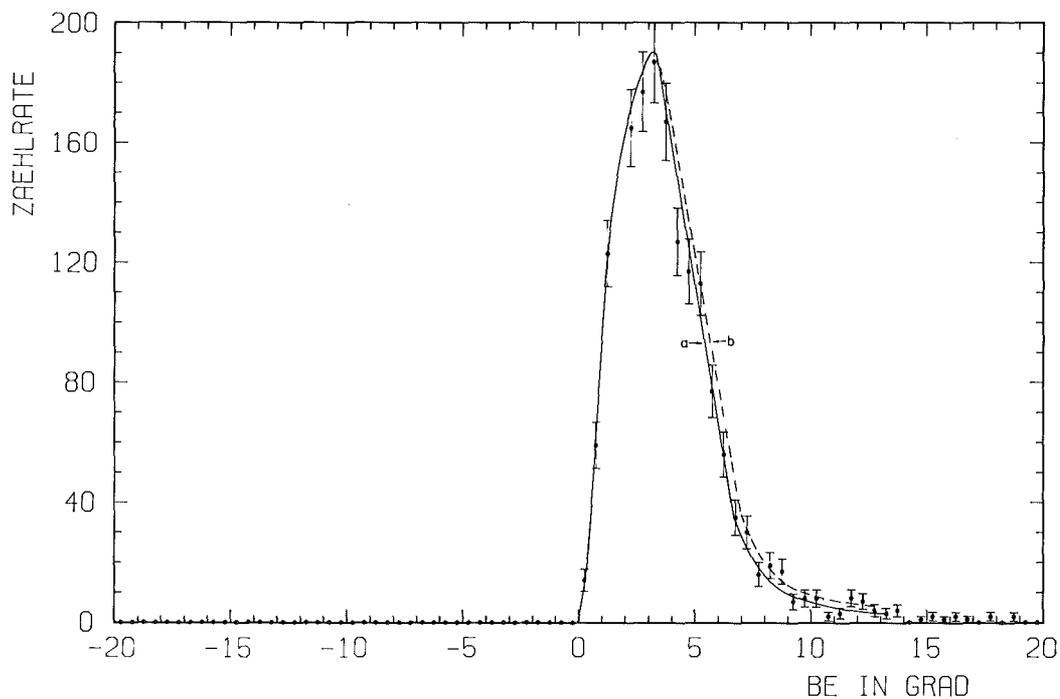


Abb. 54: Winkelverteilung für 8 cm Moderator

- a) gemessen
- b) akzeptanz-korrigiert

Aus Abb. 54 ist ersichtlich, daß selbst bei 8 cm Kohlenstoff-Moderator der Phasenraum des Strahles kaum von der Kammer beschnitten wird. Somit hat sich die gewählte Kammerkonstruktion auch in dieser Hinsicht für unsere Verhältnisse als optimal erwiesen.

6.2.5 Die Winkel-Aufstreuung des \bar{p} -Strahles unmittelbar vor dem Target

Beim Durchgang eines schweren geladenen Teilchens durch Materie wird dies überwiegend durch inelastische Stöße an den Atom-Elektronen gestreut. Die Streuwinkel vieler Teilchendurchgänge sind gemäß einer Gaußverteilung um $\theta = 0$ verteilt.

Winkelverteilung in der Ebene:

$$N(\theta) = \text{konst.} \cdot \exp(-k\theta^2) \qquad \text{Gl. 6.15}$$

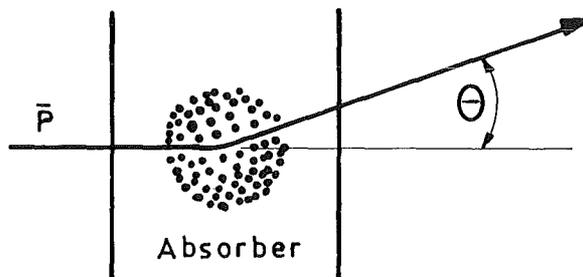


Abb. 55: Mittlerer Streuwinkel θ in der Ebene

Wenn man die mittlere Energie der Teilchen nach dem Durchgang durch den Moderator kennt, läßt sich der mittlere Streuwinkel berechnen. ¹⁶⁾

Diese Theorie gilt aber nur für parallel einfallende, schwere, geladene Teilchen hoher Energie und dünne Absorber.

In unserem Fall war der \bar{p} -Strahl an der Stelle, an der später der Moderator eingefügt wurde, leicht konvergent. Außerdem wurde die Teilchenenergie nach dem Durchgang durch den Moderator nicht gemessen. Es ist zwar möglich, die Energie der \bar{p} beim Durchgang durch das Teleskop abzuschätzen (Kap. 6.2.1), doch ist es außerordentlich schwierig, die dabei auftretende Verbreiterung der Energieverteilung (Energie-Straggling) mit zu berücksichtigen, zumal das Kammer-system bei großen Moderator-dicken von der theoretisch berechneten Energieverteilung nur die höherenergetischen Teilchen detektiert, da die niederenergetischen bereits im Moderator stoppen. Dadurch verschiebt sich das Maximum der Energieverteilung für die nachgewiesenen Teilchen zu höheren Energien und es werden kleinere Streuwinkel detektiert, als nach der Theorie zu erwarten wäre.

Im folgenden sollen die im \bar{p} -Strahl bei verschiedenen Moderatorordicken gemessenen Winkelverteilungen diskutiert werden.

Mit Hilfe des KammerSystems werden die Flugbahnen der \bar{p} nach dem Moderator rekonstruiert (siehe Anhang). Somit erhält man für jedes Teilchen einen Orts- und einen Richtungsvektor, die zusammen die Trajektorien eindeutig festlegen.

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \cos \beta \\ \cos \gamma \end{pmatrix} \quad \text{Gl. 6.16}$$

Dabei ist β der Winkel zwischen Strahlachse und Flugbahn und entspricht somit dem in Abb. 55 definierten Winkel Θ .

Die theoretischen Θ -Werte bilden eine zum Nullpunkt symmetrische Verteilung (Abb. 57), die gemessene Winkelverteilung dagegen nicht (Abb. 58). Denn alle Werte, die in den Ring der Einheitskugel mit der Fläche $2\pi \sin \Theta d\Theta$ fallen, werden aufintegriert (Abb. 56) und man erhält somit die in Abb. 58 dargestellte Winkelverteilung.

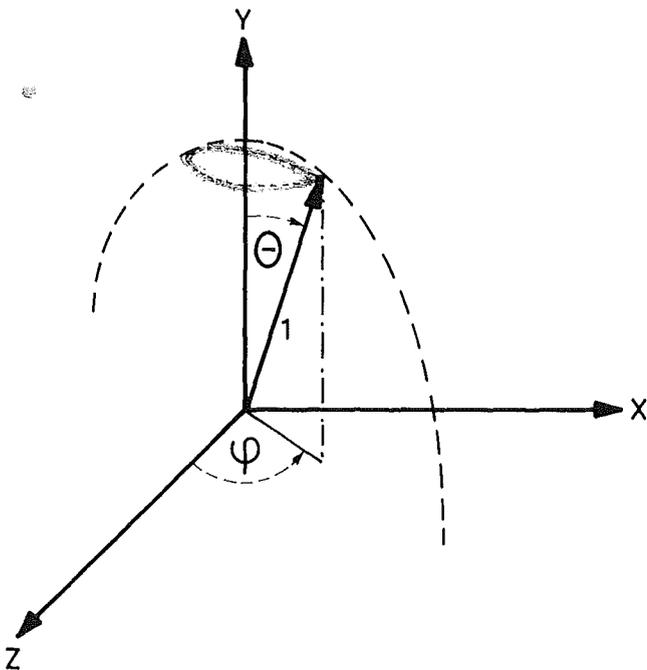


Abb. 56: Messen des Streuwinkels
Die Y-Achse entspricht der Strahlachse

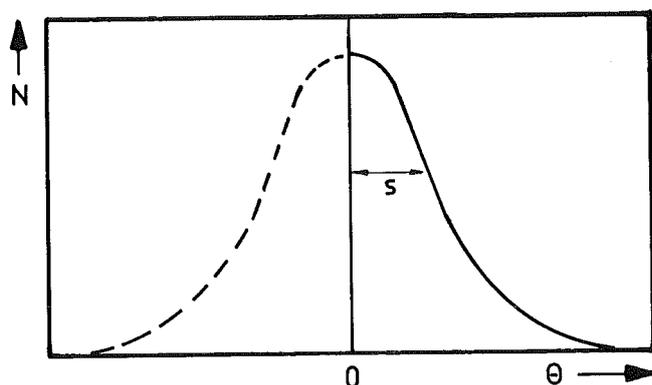


Abb. 57: Der Winkel θ in der Ebene besitzt eine nullpunktssymmetrische Verteilung

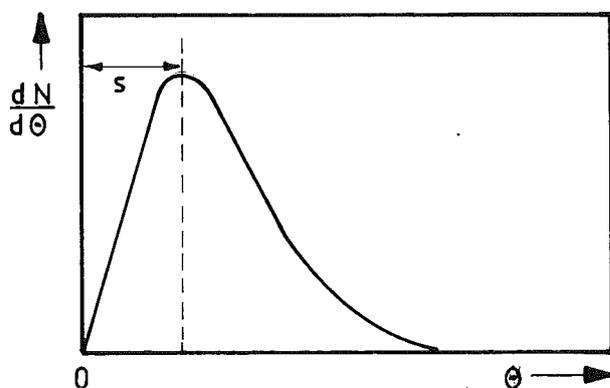


Abb. 58: Gemessene Winkelverteilung

Im mathematischen Anhang Kapitel A4 wird gezeigt, daß das Maximum der Winkelverteilung in Abb. 58 gerade bei der Standardabweichung s der ebenen Winkelverteilung in Abb. 57 liegt. Zur Bestimmung des mittleren Streuwinkels genügt es somit, die Verschiebung des Maximums in der gemessenen Winkelverteilung (Abb.58) zu bestimmen.

Doch ist dies in der Praxis nicht so einfach, denn selbst ein exakt parallel einfallender Teilchenstrahl würde, durch die endliche Winkelauflösung des Kammer-systems, eine gaußförmige Winkelverteilung mit einer Standardabweichung, die gleich der Kammerauflösung ist, erfahren und die gemessene Winkelverteilung würde somit wie die in Abb. 58 dargestellte Verteilung aussehen.

Nun ist aber der \bar{p} -Strahl in unserem Experiment auch ohne Moderator nicht parallel, sondern besitzt bereits ein Winkelstragglings, welches wiederum mit der Kammerauflösung verschmiert wird. Es handelt sich dabei um die Faltung zweier 2-dimensionaler Gaußverteilungen, die eine mit der Breite s_1 des Winkelstragglings und die andere mit der entsprechenden Breite s_2 der Kammerauflösung. In Kapitel A4 wird gezeigt, daß die Faltung zweier 2-dimensionaler Gaußverteilungen wieder eine Gaußverteilung mit der Standardabweichung

$$s = \sqrt{s_1^2 + s_2^2} \quad \text{Gl. 6.17}$$

ergibt.

Da die Winkelverteilung ohne Moderator gemessen wurde (Abb. 59) und die Winkelauflösung des Kammerystems bekannt ist, läßt sich das Anfangsstragglings des \bar{p} -Strahles ohne Moderator bestimmen.

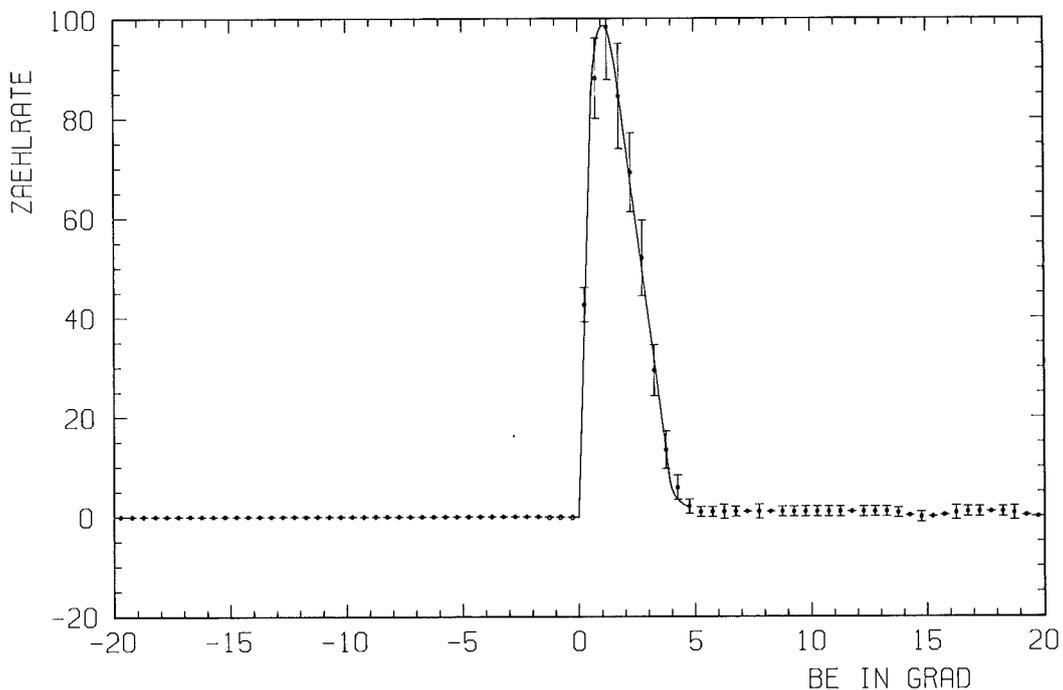


Abb. 59: Gemessenes Winkelstragglings des \bar{p} -Strahles ohne Moderator

Aus Abb. 59 entnimmt man eine Standardabweichung von $s = 1,00$ Grad.

Die Kammerauflösung s_2 beträgt $0,27$ Grad (siehe Kap. 6.1.2).

Damit erhält man aus Gleichung 6.17 ein Anfangsstragglings von

$s_1 = 0,96$ Grad.

Dieser mittlere Streuwinkel von ca. 1 Grad des \bar{p} -Strahles ohne Moderator ist zurückzuführen auf die Strahloptik, die Energieunschärfe des \bar{p} -Strahles und die Streuung der Teilchen in den Teleskopzählern.

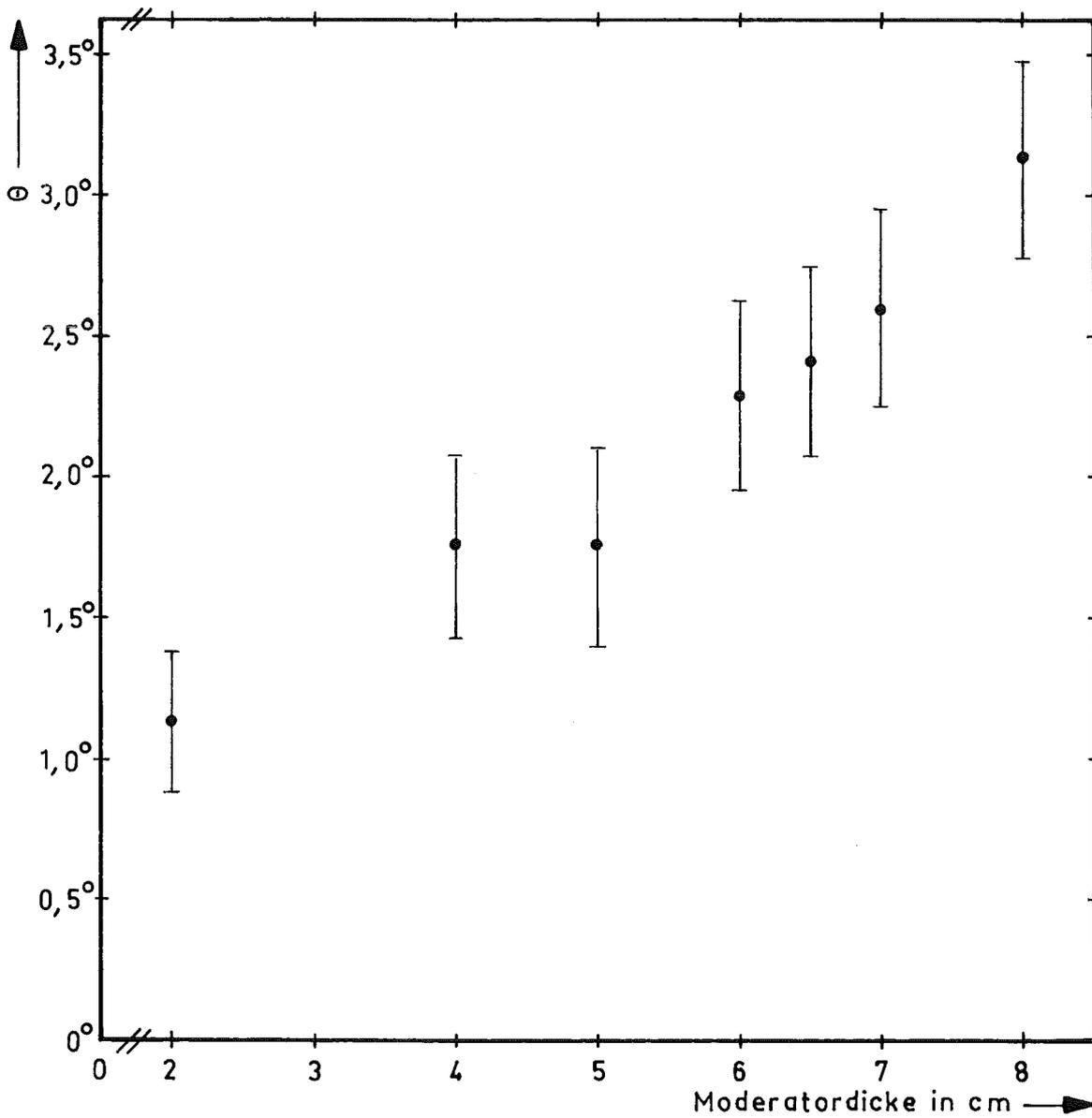


Abb. 60: Winkelstragling als Funktion der Moderatordicke
Der mittlere Streuwinkel θ in der Ebene ist aufgetragen.

Die großen Fehler sind durch die relativ schlechte Statistik und der damit verbundenen Unsicherheit in der Maxima-Bestimmung bedingt.

7. FEHLER BEI DER FLUGBAHNREKONSTRUKTION

Im Kapitel 6.1.2 wurden bereits die durch das Kammersystem bedingten statistischen Fehler behandelt.

Hier sollen die systematischen Fehler näher untersucht, sowie der Gesamtfehler in der Flugbahnrekonstruktion abgeschätzt werden.

Die vorhandenen systematischen Fehler sind:

1. Ungenauigkeit bei der Montage der Kammern:

- a) Ungenauigkeit bei der Zentrierung der Leiterplatten (Abb. 5).
Die Kammerrahmenmitte mußte sich genau zwischen dem 40. und 41. Auslesedraht befinden.
- b) Verschiebungen der Ausleseebenen untereinander und eine eventuelle Verschiebung der beiden Kammern gegeneinander.

2. Verdrehung des gesamten Kammersystems gegenüber der Strahlachse.

Fehler bei der Kammermontage:

In Kapitel 6.1.2.a) wurde für jede Ebene die Ortsauflösung ermittelt. Die dort berechneten Abstandsverteilungen (z.B. Abb.39, 62, 63) besitzen eine mehr oder weniger ausgeprägte Verschiebung des Maximums vom Nullpunkt. Diese Abweichung ist auf eine Verschiebung der jeweiligen Ebene gegenüber der mit den Daten aus allen sechs Ebenen ermittelten Flugbahnen zurückzuführen. Das bedeutet, diese Verschiebung macht eine Aussage über die Verschiebung dieser Ebene gegenüber allen anderen. Die Verschiebung der einzelnen Drähte dagegen ist statistisch und außerdem so gering (siehe Kap. 2.2), daß dies hier nicht ins Gewicht fällt.

Aus den Kurven für die Ortsauflösung wurden folgende Verschiebungen ermittelt:

	Verschiebung
1. Ebene	0,13 mm
2. Ebene	0,11 mm
3. Ebene	0,03 mm
4. Ebene	0,00 mm
5. Ebene	0,47 mm
6. Ebene	0,27 mm

Tab. 7.1: Relative Verschiebung der Ebenen gegenüber der berechneten Flugbahn

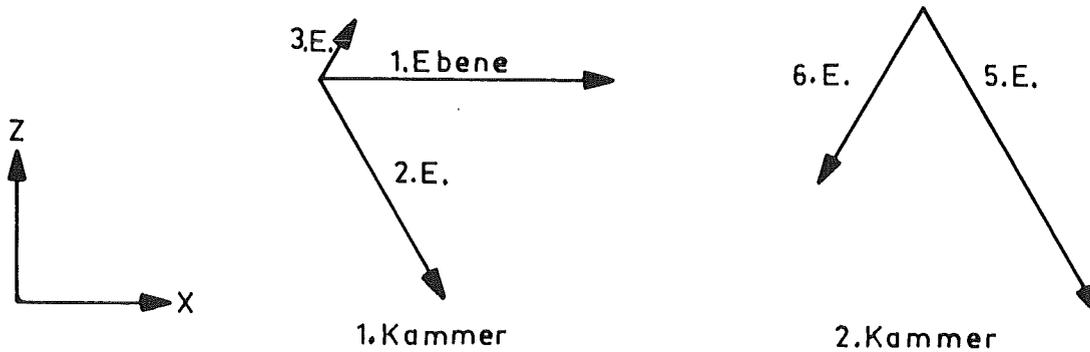


Abb. 61: Richtung der Verschiebungen der Auslese-Ebenen in der x-z-Ebene

Die relativ großen Abweichungen in der 2. Kammer sind offensichtlich auf eine vertikale Verschiebung der zweiten Kammer gegenüber der ersten zurückzuführen.

Aus Tabelle 7.1 ergibt sich eine mittlere Verschiebung der Ebenen von 0,2 mm, was mit dem bei der Montage geschätzten Wert übereinstimmt.

Die vektorielle Summe der Verschiebungen in der 1. Kammer beträgt somit

$$x = +0,2 \text{ mm}$$

$$z = -0,1 \text{ mm,}$$

in der zweiten Kammer

$$x = +0,10 \text{ mm}$$

$$z = -0,65 \text{ mm}$$

Ordnet man die maximalen Verschiebungen der jeweiligen Kammermitte zu (Abstand der Kammermitten = 90 mm), so ergibt sich eine Abweichung von +0,06 Grad von der y-z Ebene und von -0,34 Grad von der x-y Ebene. Dies bewirkt in der Targetmitte einen Fehler von

$$\begin{aligned}x &= +0,50 \text{ mm und} \\z &= -2,76 \text{ mm.}\end{aligned}$$

Fehler durch Verdrehung des Kammerystems:

Neben den Winkeln zwischen Flugbahn und Strahlachse ($\beta = BE$), wurden auch die Winkel zwischen Flugbahn und y-z Ebene und die Winkel zwischen Flugbahn und x-y Ebene berechnet, die im Auswerteprogramm (Kap. A1) mit AL bzw. mit GA bezeichnet werden.

Würde die Längsachse des Kammerystems mit der optischen Achse des \bar{p} -Strahles übereinstimmen, so müßte das Maximum der Winkelverteilungen N(GA) und N(AL) exakt bei einem Winkel von 0 Grad liegen.

Die Abb. 62 und 63 zeigen jeweils ein Beispiel dieser Winkelverteilungen. Daraus ist ersichtlich, daß die Maxima der Verteilungen nicht exakt bei Null liegen.

Es wurde die Winkelverteilung für 7 verschiedene Moderatorstärken gemessen und daraus die mittlere Verschiebung der Maxima bestimmt.

Das Maximum der Winkel zwischen Flugbahn und y-z Ebene liegt bei

$$AL = -0,68 \text{ Grad und}$$

das Maximum der Winkel zwischen Flugbahn und x-y Ebene liegt bei

$$GA = +0,82 \text{ Grad.}$$

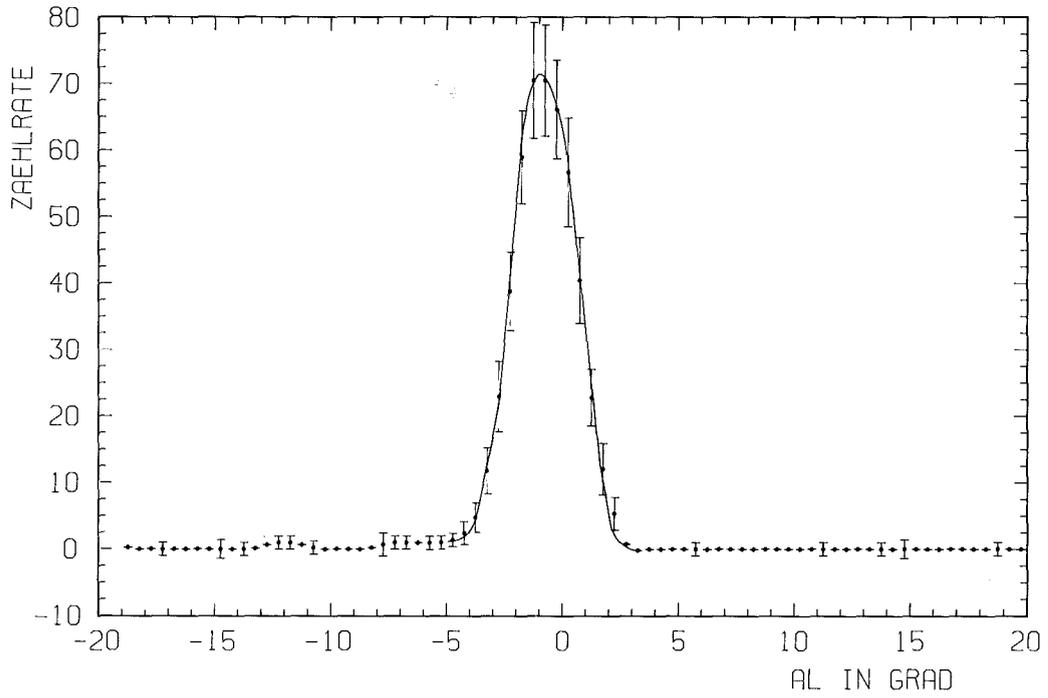


Abb. 62: Verteilung der Winkel zwischen Flugbahn und y-z Ebene (AL)
(ohne Moderator)

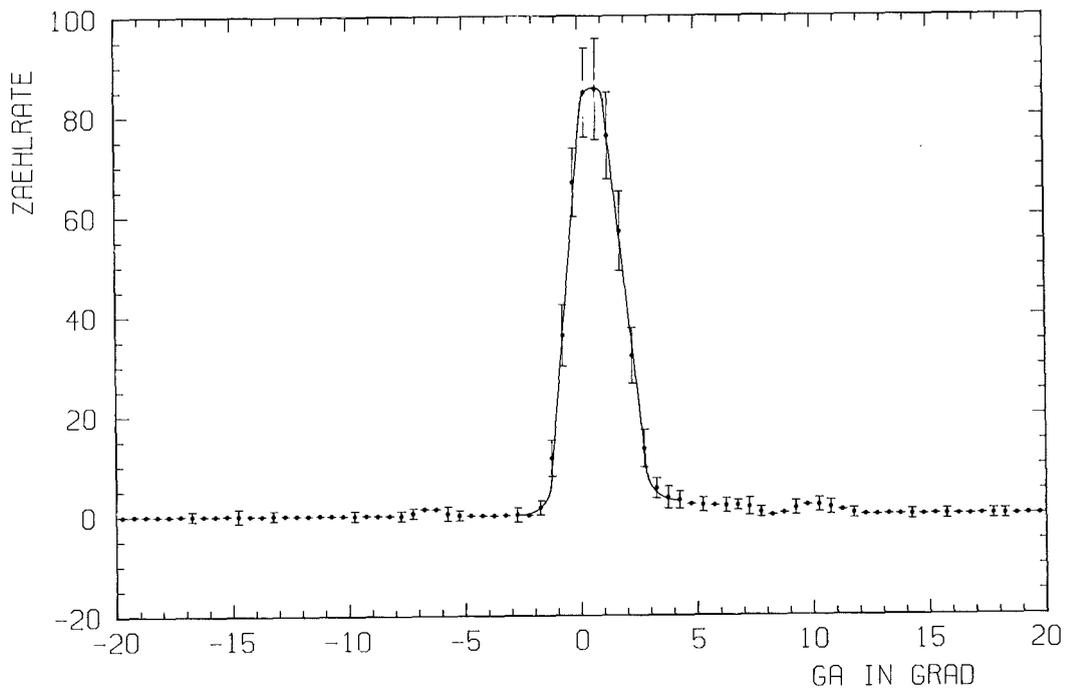


Abb. 63: Verteilung der Winkel zwischen Flugbahn und x-y Ebene (GA)
(ohne Moderator)

Diese Verschiebungen der Maxima enthalten jedoch nicht nur die Verdrehung des Kammersystems, sondern auch den bereits besprochenen Fehler durch die Verschiebung der Kammerebenen untereinander.

Den Anteil der reinen Kammerverdrehung erhält man somit durch Subtraktion der Fehler durch die Ebenenverschiebung von den Maxima-Verschiebungen der Winkel A1 und GA.

Die Verdrehung des Kammersystems in x-Richtung ist somit

$$0,82^\circ - 0,06^\circ = 0,76^\circ \text{ und in z-Richtung} \\ -0,68^\circ - (-0,34^\circ) = -0,34^\circ$$

Dies bewirkt in der Targetmitte eine Verschiebung von

$$x = 6,2 \text{ mm und} \\ z = -2,8 \text{ mm}$$

auf Grund der Verdrehung des Kammersystems.

Gesamtfehler:

Die endliche Ortsauflösung des Kammersystems bewirkt eine Verschmierung des Auftreffpunktes der Anti-Protonen in der Targetmitte in ein Rechteck von $2 \times 2,2 \text{ mm}^2$.

Die systematische Fehler bewirken lediglich eine Verschiebung dieses Flecks in eine definierte Richtung (Abb. 64). Da nun diese Verschiebungen bekannt sind, können diese im Auswertprogramm korrigiert werden. Was somit noch als Fehler übrigbleibt ist die Ortsauflösung der Kammer (Kap. 6.1.2) von ca. $\pm 2 \text{ mm}$ in der Targetmitte.

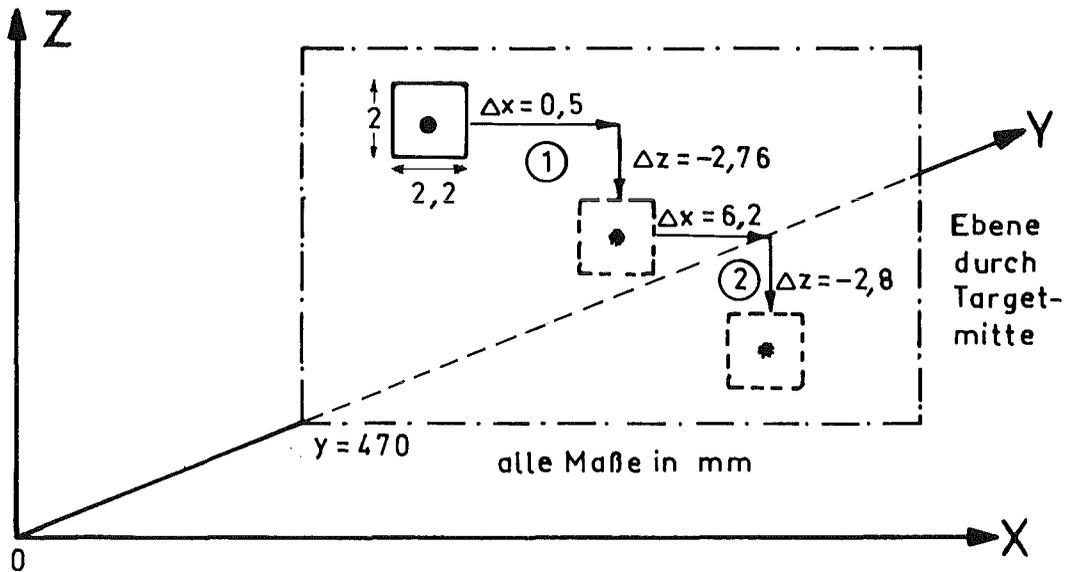


Abb. 64: Verschiebung der statistischen Verschmierung durch die systematischen Fehler (nicht maßstabsgetreu)

- ① : Verschiebung auf Grund der Verschiebungen der Ebenen untereinander
- ② : Verschiebung auf Grund der Verdrehung des Kammersystems

8. ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit wurde der Aufbau eines Vieldraht-Proportional-Kammer-systems beschrieben, das zur Bestimmung der Trajektorien von Antiprotonen in einem Experiment am CERN-PS verwendet wird.

Durch Verwendung besonders dünner Drähte ($10 \mu\text{m } \varnothing$) und durch einen sehr kleinen Drahtabstand (1 mm) gelang es, bei hoher Transparenz des Systems eine sehr gute Ortsauflösung ($\pm 0,2 \text{ mm}$) zu erreichen.

Die Bahn der langsamen Antiprotonen konnte in der Ebene senkrecht zum Strahl in der Targetmitte mit einer Genauigkeit von $\pm 2 \text{ mm}$ festgelegt werden. Die Verwendung dieser Information bei der Auswertung der Baryoniumspektren verbesserte das Signal zu Untergrundverhältnis um ca. 35 %.

Das System war bisher etwa ein Jahr lang ohne nennenswerte Ausfälle im Einsatz bei den "Meß-Runs".

Vor dem Einsatz der Kammern im Experiment wurden Testmessungen am Antiprotonen-Strahl durchgeführt.

Die Auswertung dieser Messungen lieferte ausführliche Informationen über den gestoppten Antiprotonen-Strahl, wie z.B. seine Winkeldivergenz als Funktion der Moderatorstärke, sowie seine räumliche Ausdehnung in der Target-Region, was für die Konzeption neuer Experimente von Bedeutung ist.

" A N H A N G "

- Flugbahnrekonstruktionsprogramm und dessen Beschreibung
- mathematischer Anhang
- Kammerdicke in g/cm^2
- Test-Einheit GM/78

A1. RECHNERPROGRAMM ZUR REKONSTRUKTION DER FLUGBAHNEN

Dieses Programm wurde in der höheren Programmiersprache Fortran IV geschrieben.

Im folgenden ist nur jenes Programm aufgelistet, das aus den Detektordaten die Flugbahnen der Antiprotonen rekonstruiert.

Alle anderen Programme bzw. Programmteile, die zur Auswertung der Magnetbanddaten erforderlich waren, bleiben unveröffentlicht.

```
C      *****                                MAIN0020
C      * MAIN *                                MAIN0030
C      *****                                MAIN0040
C                                             MAIN0050
C      INTEGER*2 IS(2,1024),ISKIP(1024)      MAIN0060
C*                                           MAIN0070
C      THE PDP11-DATA ,BUT ALREADY TRANSFORMED INTO THE MAIN0080
C      IBM-STRUCTURE ,HAVE TO BE READ INTO THE ARRAY IS MAIN0090
C*                                           MAIN0100
C      DIMENSION IL(1024),IPLAN(6,8),ICLUST(15),ICHE(6),IPLAN1(48), MAIN0110
+      ISW1(3),ISW2(3),ICL(15)              MAIN0120
C*                                           MAIN0130
C      COMMON /          / HBOOKM(32768)     MAIN0140
C      EQUIVALENCE (IS(1,1),IL(1)),(IPLAN1(1),IPLAN(1,1)) MAIN0150
C      COMMON /CALCUL/ NTO,MTRAC,MHIT,IPLAN,IFLAG,MHCALL MAIN0160
C*                                           MAIN0170
C      THE FOLLOWING CALCULATION WILL BE DONE WITH THE CONTENTS MAIN0180
C      OF ARRAY IL,BECAUSE THE MSB OF ARRAY IS WILL BE MAIN0190
C      INTERPRETED AS A SIGN, BUT IT ISN'T   MAIN0200
C*                                           MAIN0210
C      IONVER(N,I1,I2) = MOD(N,2**(I2+I1))/2**I1 MAIN0220
C*                                           MAIN0230
C      N = INTEGERNUMBER                     MAIN0240
C      I1= NUMBER OF SUPPRESSED BITS FROM THE RIGHT MAIN0250
C      I2= NUMBER OF BITS TO READ           MAIN0260
C*                                           MAIN0270
C      CALL HLIMIT (32768)                   MAIN0280
C                                             MAIN0290
C      CALL HBOOK1 (1,'X-COORDINATES$',100,-50.,150.,0.) MAIN0300
C      CALL HBOOK1 (2,'Z-COORDINATES$',100,-50.,150.,0.) MAIN0310
C      CALL HBOOK2 (3,'X-Z-COORDINATES$',100,-50.,150.,100,-50.,150.,0.) MAIN0320
C      CALL HBOOK1 (4,'ANGLE-DISTRIBUTION IN THE X-Y PLANE:$',80.,-20., MAIN0330
+      +20.,0.)                               MAIN0340
C      CALL HBOOK1 (5,'ANGLE-DISTRIBUTION IN THE Y-Z PLANE:$',80.,-20., MAIN0350
+      +20.,0.)                               MAIN0360
C      CALL HBOOK2 (6,'ANGLE-DISTRIBUTION ON THE TARGET-MIDTH:$',80., MAIN0370
+      -20.,+20.,80.,-20.,+20.,0.)           MAIN0380
C      CALL HBOOK1 (7,'INCLINATION AGAINST BEAM-AXIS:$',80.,-20.,+20.,0.) MAIN0390
C      CALL HERROR (0)                       MAIN0400
C*                                           MAIN0410
C      IBD0 = 0                               MAIN0420
C      IBD4 = 0                               MAIN0430
C*                                           MAIN0440
C      IBD0: COUNTER FOR THE EVENTS WITHOUT CHAMBERDATA MAIN0450
C      IBD4:  " " " " WITH ONLY 1-4 FIRED WIRES MAIN0460
C*                                           MAIN0470
C      IN BOTH CHAMBERS                       MAIN0480
C                                             MAIN0490
C      READ (5,*) ISTART,ISTOP,IEND           MAIN0500
C      WRITE (6,10000) ISTART,ISTOP,IEND     MAIN0510
10000 FORMAT (' ', 'ISTART=',I5,' ', 'ISTOP=',I5,' ', 'IEND=',I5) MAIN0520
C      IF (ISTART.EQ.0) GOTO 110              MAIN0530
C      ISTART=0: NO SKIPPING                  MAIN0540
C      NSKIP = 0                              MAIN0550
C      DO 100 I=ISTART,ISTOP                  MAIN0560
C          READ (8,10020,ERR=130,END=350) ISKIP MAIN0570
C          NSKIP = NSKIP+1                    MAIN0580
100    CONTINUE
```

WRITE (6,10010) NSKIP	MAIN0590
10010 FORMAT ('1','SKIPPED RECORDS:',I8)	MAIN0600
C*	MAIN0610
C THE RECORDS BETWEEN ISTART AND ISTOP ARE SKIPPED,	MAIN0620
C THE RECORDS ISTOP+1 TIL IEND ARE READ	MAIN0630
C*	MAIN0640
110 IREC = 0	MAIN0650
C*	MAIN0660
C IREC: RECORD COUNTER	MAIN0670
C*	MAIN0680
120 IF (IREC.GE.(IEND-ISTOP)) GOTO 350	MAIN0690
IREC = IREC+1	MAIN0700
READ (8,10020,ERR=130,END=350) (IS(2,J),J=1,1024)	MAIN0710
10020 FORMAT (16(64A2))	MAIN0720
IF (.NOT.((IREC.EQ.1).OR.(IREC.EQ.(IEND-ISTOP)))) GOTO 140	MAIN0730
WRITE (6,*) (IS(2,J),J=1,1024)	MAIN0740
GOTO 140	MAIN0750
130 WRITE (6,10030)	MAIN0760
10030 FORMAT (15HOLESEFEHLER 08)	MAIN0770
140 IPT = 3	MAIN0780
C*	MAIN0790
C POINTER (IPT) IS SET = 3	MAIN0800
C*	MAIN0810
IEV = 0	MAIN0820
IBD12 = 0	MAIN0830
IBD8 = 0	MAIN0840
C*	MAIN0850
C IEV: EVENT COUNTER	MAIN0860
C IBD12=1: MORE THAN 12 CHAMBERWORDS PER EVENT	MAIN0870
C IBD8=1: MORE THAN 8 WIRES PER PLANE HAVE FIRED	MAIN0880
C*	MAIN0890
150 IEV = IEV+1	MAIN0900
ICHE(1) = 0	MAIN0910
ICHE(2) = 0	MAIN0920
ICHE(3) = 0	MAIN0930
ICHE(4) = 0	MAIN0940
ICHE(5) = 0	MAIN0950
ICHE(6) = 0	MAIN0960
DO 160 I=1,15	MAIN0970
ICL(I) = 0	MAIN0980
160 CONTINUE	MAIN0990
C*	MAIN1000
C ICH(X): NUMBER OF FIRED WIRES IN EACH PLANE (CLUSTERCENTER)	MAIN1010
C*	MAIN1020
DO 170 J=1,48,1	MAIN1030
IPLAN1(J) = 0	MAIN1040
170 CONTINUE	MAIN1050
LEV = IONVER(IL(IPT+1),8,8)	MAIN1060
IPTW = IPT+8	MAIN1070
IF (IS(2,IPTW).GE.0) GOTO 180	MAIN1080
IPT = IPT+LEV	MAIN1090
IBD12 = IBD12+1	MAIN1100
GOTO 330	MAIN1110
180 IPTM = IPT+LEV	MAIN1120
C*	MAIN1130
C IPTM= ADDRESS OF THE LAST WORD IN THE EVENT	MAIN1140
C*	MAIN1150
C AFTER ONE EVENT IS COMPUTED,THE POINTER STANDS	MAIN1160
C IN FRONT OF THE NEXT EVENT	MAIN1170

```
IPCW = IONVER(IL(IPT+10),14,1) MAIN1190
C* MAIN1200
C IPCW: POSITION OF THE FIRST CHAMBERWORD IN THE EVENT MAIN1210
C IF IPCW=0 =>THE 14TH EVENTWORD IS THE FIRST CHAMBERWORD MAIN1220
C IF IPCW=1 => " 18TH " " " MAIN1230
C* MAIN1240
C NOW: POINTER IS SET TO THE FIRST CHAMBERWORD MAIN1250
C* MAIN1260
IF (IPCW) 190,190,200 MAIN1270
190 IPT = IPT+14 MAIN1280
KT0 = IPTM-IPT+1 MAIN1290
IF (KT0.EQ.0) IBD0 = IBD0+1 MAIN1300
IF (KT0.GE.1.AND.KT0.LE.4) IBD4 = IBD4+1 MAIN1310
GOTO 210 MAIN1320
200 IPT = IPT+18 MAIN1330
KT1 = IPTM-IPT+1 MAIN1340
IF (KT1.EQ.0) IBD0 = IBD0+1 MAIN1350
IF (KT1.GE.1.AND.KT1.LE.4) IBD4 = IBD4+1 MAIN1360
C* MAIN1370
210 IADDR = IONVER(IL(IPT),0,12)-12 MAIN1380
C* MAIN1390
C IADDR IS THE FINAL (CORRECTED) WIREADDRESS MAIN1400
C* MAIN1410
J1 = 1 MAIN1420
IF (IADDR.LE.479) GOTO 220 MAIN1430
IPT = IPT+1 MAIN1440
GOTO 210 MAIN1450
220 I1 = (IADDR/80)+1 MAIN1460
ICHE(I1) = ICHE(I1)+1 MAIN1470
230 IF (IPLAN(I1,J1).EQ.0) GOTO 250 MAIN1480
J1 = J1+1 MAIN1490
IF (J1-8) 230,230,240 MAIN1500
240 IBD8 = IBD8+1 MAIN1510
C* MAIN1520
C IF J1>8 :MORE THAN 8 WIRES IN ONE PLANE HAVE FIRED MAIN1530
C* MAIN1540
IPT = IPTM MAIN1550
GOTO 330 MAIN1560
250 IPLAN(I1,J1) = IADDR MAIN1570
C*
ICLW = IONVER(IL(IPT),12,4) MAIN1580
ICL(ICLW) = ICL(ICLW)+1 MAIN1590
IF (IPT-IPTM) 260,270,270 MAIN1600
260 IPT = IPT+1 MAIN1610
GOTO 210 MAIN1620
270 ISUM = 0 MAIN1630
DO 280 J=1,6,1 MAIN1640
ISUM = ISUM+ICHE(J)/MAX0(ICHE(J),1) MAIN1650
280 CONTINUE MAIN1660
IF (ISUM.GE.5) GOTO 290 MAIN1670
IPT = IPTM MAIN1680
GOTO 330 MAIN1690
290 CONTINUE MAIN1700
C* MAIN1710
C CLUSTERCOUNTER:THE ARRAYELEMENTS GIVE THE MULTIPLICITIES MAIN1720
C OF THE CLUSTERWIDTHS MAIN1730
C* MAIN1740
DO 300 I=1,15 MAIN1750
ICLUST(I) = ICLUST(I)+ICL(I) MAIN1760
300 CONTINUE MAIN1770
```

```
C THE POINTS OF INTERSECTION ARE ONLY CALCULATED IF IN ONE MAIN1790
C CHAMBER WIRES IN 2 PLANES AND IN THE OTHER CHAMBER WIRES IN MAIN1800
C 3 PLANES HAVE FIRED (AT LEAST 1 WIRE PER PLANE) OR WIRES IN MAIN1810
C AL 6 PLANES HAVE FIRED MAIN1820
C* MAIN1830
DO 310 I=1,6 MAIN1840
IF (ICHE(I).GT.1) GOTO 320 MAIN1850
310 CONTINUE MAIN1860
C* MAIN1870
C IF ONLY 5 OR 6 WIRES HAVE FIRED ( AND ONLY 1 WIRE PER PLANE ) MAIN1880
C THE TRACES WILL BE CALCULATED AT ONCE IN SUB TRACE ! MAIN1890
C* MAIN1900
IFLAG = 1 MAIN1910
C* MAIN1920
CALL TRACE (ISW1,ISW2) MAIN1930
C* ***** MAIN1940
IPT = IPTM MAIN1950
GOTO 330 MAIN1960
320 IFLAG = 0 MAIN1970
C* MAIN1980
CALL POINT (IPLAN) MAIN1990
C* ***** MAIN2000
C THE SUBROUTINE POINT COMPUTES THE POINTS OF INTERSECTION MAIN2010
C OF THE WIRES
C*
330 IF (IPT.GE.1024.OR.II(IPTM+1).EQ.0) GOTO 340 MAIN2020
GOTO 150 MAIN2030
340 CONTINUE MAIN2040
C MAIN2050
ISU12 = ISU12+IBD12 MAIN2060
ISU8 = ISU8+IBD8 MAIN2070
ISUEV = ISUEV+IEV MAIN2080
GOTO 120 MAIN2090
350 CONTINUE MAIN2100
WRITE (6,10040) IREC,ISUEV,MTRAC,MHCALL,MHIT,ISU12,IBD4,ISU8, MAIN2110
+ IBD0,NT0,ICLUST MAIN2120
10040 FORMAT ('1','NUMBER OF PROCESSED RECORDS: ',I5//',', MAIN2130
+ 'TOTAL NUMBER OF PROCESSED EVENTS: ',I8//',', MAIN2140
+ 'NUMBER OF SUB TRACE CALLS: ',I8//',', 'NUMBER OF HBOOK ', MAIN2150
+ 'CALLS: ',I8//',', 'NUMBER OF HITPOINTS: ',I8//',', MAIN2160
+ 'NUMBER OF EVENTS WITH MORE THAN 12 CHAMBERWORDS:', MAIN2170
+ I5//',', ' " " " " 1 TO 4 FIRED WIRES: ', MAIN2180
+ I5//',', ' " " " " MORE THAN 8 FIRED WIRES ', MAIN2190
+ 'PER'' PLANE: ',I5//',', ' " " " WITHOUT ', MAIN2200
+ 'CHAMBER-DATA: ',I5//',', 'NO CORRESPONDING WIRES ', MAIN2210
+ 'BETWEEN THE FIRST AND 2ND'' CHAMBER: ',I5//',', MAIN2220
+ 'CLUSTERDISTRIBUTION: '//15I7) MAIN2230
CALL HPRINT (0) MAIN2240
STOP MAIN2250
==== MAIN2260
C E N D MAIN2270
MAIN2280
```

```

C      *****                                POINT030
C      * POINT *                                POINT040
C      *****                                POINT050
C*                                           POINT060
      SUBROUTINE POINT (IPLAN)                   POINT070
C*                                           POINT080
C      THIS SUBROUTINE CALCULATES THE INTERSECTION POINTS BETWEEN POINT090
C      THE FIRED WIRES IN DIFFERENT PLANES (FOR EACH CHAMBER SEPARATELY) POINT100
C*                                           POINT110
      DIMENSION IPLAN(6,8),CROSP1(3,35),CROSP2(3,35),IWIRE1(2,35),
+      IWIRE2(2,35)                             POINT120
      COMMON /CALCUL/ NTO,MTRAC,MHIT,IPLN(6,8),IFLAG,MHCALL POINT130
C*                                           POINT140
C      COMPUTING THE INTERSECTION POINTS BETWEEN THE FIRED WIRES POINT150
C      IN THE 1ST AND 2ND PLANE                 POINT160
C*                                           POINT170
      KA = 1                                     POINT180
      KB = 1                                     POINT190
      DO 100 I=1,3                               POINT200
        DO 100 J=1,35                             POINT210
          CROSP1(I,J) = 0.                       POINT220
          CROSP2(I,J) = 0.                       POINT230
100    CONTINUE                                 POINT240
      DO 110 I=1,2                               POINT250
        DO 110 J=1,35                             POINT260
          IWIRE1(I,J) = 0                         POINT270
          IWIRE2(I,J) = 0                         POINT280
110    CONTINUE                                 POINT290
C*                                           POINT300
      DO 120 I=1,8                               POINT310
        DO 120 J=1,8                             POINT320
          IF ((IPLAN(1,I).EQ.0).OR.(IPLAN(2,J).EQ.0)) GOTO 120 POINT330
          X1 = IPLAN(1,I)                         POINT340
          Z1 = 0.57735*X1+(159-IPLAN(2,J))*1.1547 POINT350
          Y1 = 5.                                 POINT360
C*                                           POINT370
C      ALL MEASURES IN MILLIMETERS              POINT380
C*                                           POINT390
          CROSP1(1,KA) = X1                       POINT400
          CROSP1(2,KA) = Y1                       POINT410
          CROSP1(3,KA) = Z1                       POINT420
          IWIRE1(1,KA) = IPLAN(1,I)              POINT430
          IWIRE1(2,KA) = IPLAN(2,J)              POINT440
          KA = KA+1                               POINT450
120    CONTINUE                                 POINT460
C*                                           POINT470
C      COMPUTING THE INTERSECTION POINTS BETWEEN THE FIRED WIRES POINT480
C      IN THE 2ND AND 3RD PLANE                 POINT490
C*                                           POINT500
      DO 130 I=1,8                               POINT510
        DO 130 J=1,8                             POINT520
          IF ((IPLAN(2,I).EQ.0).OR.(IPLAN(3,J).EQ.0)) GOTO 130 POINT530
          X2 = ((239-IPLAN(3,J))*1.1547+46.188-(159-IPLAN(2,I))*1.1547) POINT540
+          /1.1547                               POINT550
          Y2 = 15.                               POINT560
          Z2 = 0.57735*X2+(159-IPLAN(2,I))*1.1547 POINT570
          CROSP1(1,KA) = X2                       POINT580
          CROSP1(2,KA) = Y2                       POINT590
          CROSP1(3,KA) = Z2                       POINT600
          IWIRE1(1,KA) = IPLAN(2,I)              POINT610
          IWIRE1(2,KA) = IPLAN(3,J)              POINT620
          KA = KA+1                               POINT630
130    CONTINUE                                 POINT640
                                           POINT650

```

```
C      COMPUTING THE INTERSECTION POINTS BETWEEN THE FIRED WIRES          POINT670
C      IN THE 1ST AND 3RD PLANE                                           POINT680
C*
DO 140 I=1,8                                                                POINT690
      DO 140 J=1,8                                                         POINT700
          IF ((IPLAN(1,I).EQ.0).OR.(IPLAN(3,J).EQ.0)) GOTO 140          POINT710
          X3 = IPLAN(1,I)                                                 POINT720
          Y3 = 10.                                                         POINT730
          Z3 = -0.57735*X3+(239-IPLAN(3,J))*1.1547+46.188                POINT740
          CROSP1(1,KA) = X3                                               POINT750
          CROSP1(2,KA) = Y3                                               POINT760
          CROSP1(3,KA) = Z3                                               POINT770
          IWIRE1(1,KA) = IPLAN(1,I)                                       POINT780
          IWIRE1(2,KA) = IPLAN(3,J)                                       POINT790
          KA = KA+1                                                         POINT800
140    CONTINUE                                                            POINT810
C*
      KS = KA-1                                                            POINT820
C*
C      COMPUTING THE POINTS OF INTERSECTION BETWEEN THE FIRED           POINT830
C      WIRES IN THE 4TH AND 5TH PLANE                                     POINT840
C*
C      PHYSICALLY THESE ARE THE TWO LAST PLANES IN BEAM-DIRECTION      POINT850
C*
DO 150 I=1,8                                                                POINT860
      DO 150 J=1,8                                                         POINT870
          IF ((IPLAN(4,I).EQ.0).OR.(IPLAN(5,J).EQ.0)) GOTO 150        POINT880
          X3 = IPLAN(4,I)-240                                             POINT890
          Y3 = 105                                                         POINT900
          Z3 = 0.57735*X3+(399-IPLAN(5,J))*1.1547                        POINT910
          CROSP2(1,KB) = X3                                               POINT920
          CROSP2(2,KB) = Y3                                               POINT930
          CROSP2(3,KB) = Z3                                               POINT940
          IWIRE2(1,KB) = IPLAN(4,I)                                       POINT950
          IWIRE2(2,KB) = IPLAN(5,J)                                       POINT960
          KB = KB+1                                                         POINT970
150    CONTINUE                                                            POINT980
C*
C      COMPUTING THE INTERSECTION POINTS BETWEEN THE FIRED           POINT990
C      WIRES IN THE 4TH AND 6TH PLANE                                     POINT1000
C*
C      PHYSICALLY THESE ARE THE 1ST TWO PLANES IN THE SECOND CHAMBER   POINT1010
C*
DO 160 I=1,8                                                                POINT1020
      DO 160 J=1,8                                                         POINT1030
          IF ((IPLAN(4,I).EQ.0).OR.(IPLAN(6,J).EQ.0)) GOTO 160        POINT1040
          X4 = IPLAN(4,I)-240                                             POINT1050
          Y4 = 95.                                                         POINT1060
          Z4 = -.57735*X4+(479-IPLAN(6,J))*1.1547+46.188                POINT1070
          CROSP2(1,KB) = X4                                               POINT1080
          CROSP2(2,KB) = Y4                                               POINT1090
          CROSP2(3,KB) = Z4                                               POINT1100
          IWIRE2(1,KB) = IPLAN(4,I)                                       POINT1110
          IWIRE2(2,KB) = IPLAN(6,J)                                       POINT1120
          KB = KB+1                                                         POINT1130
160    CONTINUE                                                            POINT1140
      POINT1150
      POINT1160
      POINT1170
      POINT1180
      POINT1190
      POINT1200
      POINT1210
```



```

C      *****                                SELECT30
C      * SELECT *                               SELECT40
C      *****                                SELECT50
C*     SUBROUTINE SELECT (C1,C2,IW1,IW2,KS,KT)   SELECT60
C*                                           SELECT70
C      THIS SUBROUTINE SELECTS THE TRAJECTORY-DEFINING WIRES SELECT80
C*                                           SELECT90
C*     DIMENSION C1(3,35),C2(3,35),IW1(2,35),IW2(2,35),ISW1(3),ISW2(3), SELEC100
+       IGW1(2,8),IGW2(2,8),DIFX(50,50),DIFZ(50,50), SELEC110
+       SUDIF(50,50),IGW11(16),IGW22(16) SELEC120
EQUIVALENCE (IGW1(1,1),IGW11(1)),(IGW2(1,1),IGW22(1)) SELEC130
COMMON /CALCUL/ NTO,MTRAC,MHIT,IPLAN(6,8),IFLAG,MHCALL SELEC140
C*                                           SELEC150
DO 100 K=1,3 SELEC160
  ISW1(K) = 0 SELEC170
  ISW2(K) = 0 SELEC180
100 CONTINUE SELEC190
C*                                           SELEC200
C      THE ARRAYS ISW1(3) AND ISW2(3) ARE CONTAINING THE SELECTED SELEC210
C      WIRE ADDRESSES SELEC220
C*                                           SELEC230
DO 110 L=1,50 SELEC240
  DO 110 M=1,50 SELEC250
    SUDIF(L,M) = 10000. SELEC260
    DIFX(L,M) = 0 SELEC270
    DIFZ(L,M) = 0 SELEC280
110 CONTINUE SELEC290
  DO 120 L=1,16 SELEC300
    IGW11(L) = 0 SELEC310
    IGW22(L) = 0 SELEC320
120 CONTINUE SELEC330
    IF (.NOT.(KS.EQ.1.OR.KS.EQ.3)) GOTO 150 SELEC340
  DO 130 I=1,3 SELEC350
    IGW1(1,I) = IW1(1,I) SELEC360
    IGW1(2,I) = IW1(2,I) SELEC370
130 CONTINUE SELEC380
C*                                           SELEC390
DO 140 M=1,2 SELEC400
  DO 140 N=1,3 SELEC410
    IF (IGW1(M,N).EQ.0) GOTO 140 SELEC420
    I1 = IGW1(M,N)/80+1 SELEC430
    IF (ISW1(I1).NE.0) GOTO 140 SELEC440
    ISW1(I1) = IGW1(M,N) SELEC450
140 CONTINUE SELEC460
GOTO 210 SELEC470
C*                                           SELEC480
C      K11 = KS-1 SELEC490
DO 160 I=1,K11 SELEC500
  K1 = I+1 SELEC510
  DO 160 J=K1,KS SELEC520
    DIFX(I,J) = ABS(C1(1,I)-C1(1,J)) SELEC530
    DIFZ(I,J) = ABS(C1(3,I)-C1(3,J)) SELEC540
    SUDIF(I,J) = DIFX(I,J)+DIFZ(I,J) SELEC550
160 CONTINUE SELEC560
  K = 0 SELEC570
170 K22 = KS-1 SELEC580

```

```
DO 180 I=1,K2                SELEC590
  K2 = I+1                   SELEC600
  DO 180 J=K2,KS             SELEC610
    IF (SUDIF(I,J).GT.SUDIF(1,1)) GOTO 180 SELEC620
    SUDIF(1,1) = SUDIF(I,J)  SELEC630
    IM = I                   SELEC640
    JM = J                   SELEC650
180    CONTINUE              SELEC660
C*
  K = K+2                    SELEC670
  IGW1(1,K) = IW1(1,IM)     SELEC680
  IGW1(2,K) = IW1(2,IM)     SELEC690
  IGW1(1,K+1) = IW1(1,JM)   SELEC700
  IGW1(2,K+1) = IW1(2,JM)   SELEC710
  IF (K.EQ.6) GOTO 190      SELEC720
  SUDIF(IM,JM) = 15000.     SELEC730
  SUDIF(1,1) = 10000        SELEC740
  GOTO 170                   SELEC750
190 DO 200 M=1,2            SELEC760
  DO 200 N=2,7              SELEC770
    IF (IGW1(M,N).EQ.0) GOTO 200 SELEC780
    I1 = IGW1(M,N)/80+1     SELEC790
    IF (ISW1(I1).NE.0) GOTO 200 SELEC800
    ISW1(I1) = IGW1(M,N)    SELEC810
200    CONTINUE              SELEC820
C*
C    NOW FOLLOWS THE SAME PROCEDURE AGAIN FOR THE 2ND CHAMBER SELEC830
210 DO 220 L=1,50          SELEC840
  DO 220 M=1,50            SELEC860
    SUDIF(L,M) = 10000.    SELEC870
    DIFX(L,M) = 0          SELEC880
    DIFZ(L,M) = 0          SELEC890
220    CONTINUE              SELEC900
  IF (.NOT.(KT.EQ.1.OR.KT.EQ.3)) GOTO 250 SELEC910
  DO 230 I=1,3             SELEC920
    IGW2(1,I) = IW2(1,I)   SELEC930
    IGW2(2,I) = IW2(2,I)   SELEC940
230    CONTINUE              SELEC950
  DO 240 M=1,2             SELEC960
    DO 240 N=1,3           SELEC970
      IF (IGW2(M,N).EQ.0) GOTO 240 SELEC980
      I2 = IGW2(M,N)/80-2  SELEC990
      IF (ISW2(I2).NE.0) GOTO 240 SELE1000
      ISW2(I2) = IGW2(M,N) SELE1010
240    CONTINUE              SELE1020
  GOTO 310                  SELE1030
250 K33 = KT-1             SELE1040
  DO 260 I=1,K33          SELE1050
    K3 = I+1               SELE1060
    DO 260 J=K3,KT        SELE1070
      DIFX(I,J) = ABS(C2(1,I)-C2(1,J)) SELE1080
      DIFZ(I,J) = ABS(C2(3,I)-C2(3,J)) SELE1090
      SUDIF(I,J) = DIFX(I,J)+DIFZ(I,J) SELE1100
260    CONTINUE              SELE1110
C
  K = 0                     SELE1120
270 K44 = KT-1            SELE1130
                           SELE1140
                           SELE1150
```

```
DO 280 I=1,K44                                SELE1160
  K4 = I+1                                    SELE1170
  DO 280 J=K4,KT                              SELE1180
    IF (SUDIF(I,J).GT.SUDIF(1,1)) GOTO 280  SELE1190
    SUDIF(1,1) = SUDIF(I,J).                SELE1200
    IM = I                                    SELE1210
    JM = J                                    SELE1220
280    CONTINUE                              SELE1230
C*
  K = K+2                                    SELE1240
  IGW2(1,K) = IW2(1,IM)                     SELE1250
  IGW2(2,K) = IW2(2,IM)                     SELE1260
  IGW2(1,K+1) = IW2(1,JM)                   SELE1270
  IGW2(2,K+1) = IW2(2,JM)                   SELE1280
  IF (K.EQ.6) GOTO 290                       SELE1290
  SUDIF(IM,JM) = 15000.                     SELE1300
  SUDIF(1,1) = 10000                        SELE1310
  GOTO 270                                    SELE1320
290 DO 300 M=1,2                              SELE1330
  DO 300 N=2,7                                SELE1340
    IF (IGW2(M,N).EQ.0) GOTO 300             SELE1350
    I2 = IGW2(M,N)/80-2                      SELE1360
    IF (ISW2(I2).NE.0) GOTO 300             SELE1370
    ISW2(I2) = IGW2(M,N)                    SELE1380
C    THE ARRAYS ISW1 AND ISW2 CONTAIN THE SELE1390
C    < 3 WIRES PER EACH CHAMBER MAX. >     SELE1400
300    CONTINUE                              SELE1410
C                                            SELE1420
310 CALL TRACE (ISW1,ISW2)                  SELE1430
C                                            SELE1440
  RETURN                                     SELE1450
C    =====                               SELE1460
  E N D                                     SELE1470
```

```

C      *****                                TRACE030
C      * TRACE *                                TRACE040
C      *****                                TRACE050
C*     SUBROUTINE TRACE (ISW1,ISW2)              TRACE060
C*                                           TRACE070
C*     THIS SUBROUTINE CALCULATES THE TRAJECTORIES OF THE PARTICLES    TRACE080
C                                           TRACE090
C*     DIMENSION X(3),Y(3),Z(3),CALPH(3),CBET(3),CGAM(3),ISW1(3),ISW2(3) TRACE100
C*     COMMON /CALCUL/ NTO,MTRAC,MHIT,IPLAN(6,8),IFLAG,MHCALL          TRACE110
C                                           TRACE120
C     IF (IFLAG.EQ.0) GOTO 110                                           TRACE130
C*                                           TRACE140
C*     IFLAG WAS SET IN THE MAIN PROGRAM                                TRACE150
C                                           TRACE160
C*                                           TRACE170
C*     DO 100 I=1,3                                                    TRACE180
C*         ISW1(I) = IPLAN(I,1)                                         TRACE190
C*         ISW2(I) = IPLAN(I+3,1)                                       TRACE200
100    CONTINUE                                                         TRACE210
110    MTRAC = MTRAC+1                                                  TRACE220
C*         K = 0                                                         TRACE230
C*         DO 120 I=1,3                                                TRACE240
C*             X(I) = 0.                                                 TRACE250
C*             Y(I) = 0.                                                 TRACE260
C*             Z(I) = 0.                                                 TRACE270
C*             CALPH(I) = 0.                                             TRACE280
C*             CBET(I) = 0.                                             TRACE290
C*             CGAM(I) = 0.                                             TRACE300
120    CONTINUE                                                         TRACE310
C*         N12 = ISW1(1)/10*ISW2(1)/10*ISW1(2)/10*ISW2(2)/10         TRACE320
C*         N23 = ISW1(2)/10*ISW2(2)/10*ISW1(3)/10*ISW2(3)/10         TRACE330
C*         N13 = ISW1(1)/10*ISW2(1)/10*ISW1(3)/10*ISW2(3)/10         TRACE340
C*         NT = N12+N23+N13                                             TRACE350
C*         IF (NT) 130,130,140                                          TRACE360
130    NTO = NTO+1                                                      TRACE370
C*         GOTO 190                                                      TRACE380
140    IF (N12.EQ.0) GOTO 150                                          TRACE390
C*                                           TRACE400
C*         YT = 470
C*         Y WAS SET EQUAL YT !!                                       TRACE410
C*                                           TRACE420
C*         1. CALCULATION OF THE HITPOINTS IN TARGETMIDTH              TRACE430
C*                                           TRACE440
C*         K = K+1                                                       TRACE450
C*         UE1 = (YT-10.)/100.                                          TRACE460
C*         A1 = 0.9*ISW1(1)+0.1*(ISW2(1)-240)                          TRACE470
C*         B1 = ISW2(1)-240-ISW1(1)                                     TRACE480
C*         C1 = (159-ISW1(2))*1.1547+0.57735*(0.9*ISW1(1)+0.1*(ISW2(1)-240)) TRACE490
C*         D1 = (240+ISW1(2)-ISW2(2))*1.1547+0.57735*(ISW2(1)-240-ISW1(1)) TRACE500
C*         X(K) = A1+UE1*B1                                             TRACE510
C*         Y(K) = YT                                                    TRACE520
C*         Z(K) = C1+UE1*D1                                             TRACE530
C*                                           TRACE540
C*         CALCULATION OF THE DIRECTIONAL - COSINES                    TRACE550
C*                                           TRACE560
C*         RT1 = ABS(B1)**2.+10000+ABS(D1)**2.                          TRACE570
C*         CALPH(K) = B1/SQRT(RT1)                                       TRACE580
C*         CBET(K) = 100./SQRT(RT1)                                       TRACE590
C*         CGAM(K) = D1/SQRT(RT1)                                       TRACE600

```



```
AL = 90.-ACOS(CALPHA)*180./3.1416
GA = 90.-ACOS(CGAMMA)*180./3.1416
BE = ACOS(CBETA)*180./3.1416
C*
C AL=:ANGLE BETWEEN THE TRAJECTORY AND Y-Z PLANE (IN DEGREES)
C GA=:ANGLE BETWEEN THE TRAJECTORY AND X-Y PLANE (IN DEGREES)
C BE=:ANGLE BETWEEN THE TRAJECTORY AND BEAM-AXIS (IN DEGREES)
C*
CALL HFILL (1,X1,DUMMY,1.)
CALL HFILL (2,Z1,DUMMY,1.)
CALL HFILL (3,X1,Z1,1.)
CALL HFILL (4,AL,DUMMY,1.)
CALL HFILL (5,GA,DUMMY,1.)
CALL HFILL (6,AL,GA,1.)
CALL HFILL (7,BE,DUMMY,1.)
C
MHCALL = MHCALL+1
MHIT = MHIT+1
C
190 RETURN
C
=====
E N D
```

```
TRAC1200
TRAC1210
TRAC1220
TRAC1230
TRAC1240
TRAC1250
TRAC1260
TRAC1270
TRAC1280
TRAC1290
TRAC1300
TRAC1310
TRAC1320
TRAC1330
TRAC1340
TRAC1350
TRAC1360
TRAC1370
TRAC1380
TRAC1390
TRAC1400
TRAC1410
```

A2. BESCHREIBUNG DES FLUGBAHN-REKONSTRUKTIONS-PROGRAMMES

Zur Beschreibung der Flugbahnen wurde ein rechtssinniges, kartesisches Koordinatensystem gewählt. Abb. 8 S. 13 zeigt dieses Koordinatensystem, die räumliche Anordnung der Ausleseebenen in den Kammern, sowie die Numerierung der Ausleseebenen und der Signaldrähte. Der Auslesedraht mit der Adresse 0 in der 1. Kammerebene bildet die z-Achse. Der \bar{p} -Strahl läuft in Richtung der y-Achse.

Bit-Struktur des PDP-11 Bandes

Um das Programm verstehen zu können, ist es notwendig die Bit-Struktur des PDP-11 Bandes zu kennen. ¹²⁾

Abb. A4 zeigt die Bit-Struktur eines "Events".

Das "High-Byte" im ersten "Event-Wort" enthält die Anzahl der Wörter im Event (Eventlänge). Wenn das höchste BIT im 8. Wort gesetzt ist, lagen bei diesem Ereignis mehr als 12 "Clusters" vor. Solche Ereignisse werden nicht ausgewertet.

Das zweithöchste BIT (BIT 14) im 10. "Event-Wort" zeigt an, ob nur ein NAJ-Kristall oder beide angesprochen haben (Abb. 2). Ist dieses BIT logisch "1", so haben beide NAJ-Detektoren angesprochen (1 und 2) und das 18. "Event-Wort" ist das 1. Kammer-Wort. Ansonsten hat nur ein NAJ-Kristall angesprochen und das 14. Event-Wort ist das 1. Kammer-Wort. Die 4 höchsten BIT (BIT 12 bis 15) eines Kammer-Wortes enthalten die Clusterbreiten und die unteren 12 BIT (BIT 0 bis BIT 11) enthalten die Adressen der Clusterzentren in binärer Form.

Abb. A1 zeigt die Konfiguration der ausgewerteten PDP-11 Magnetbänder, die mit einer Dichte von 800 Bytes/inch beschrieben wurden.

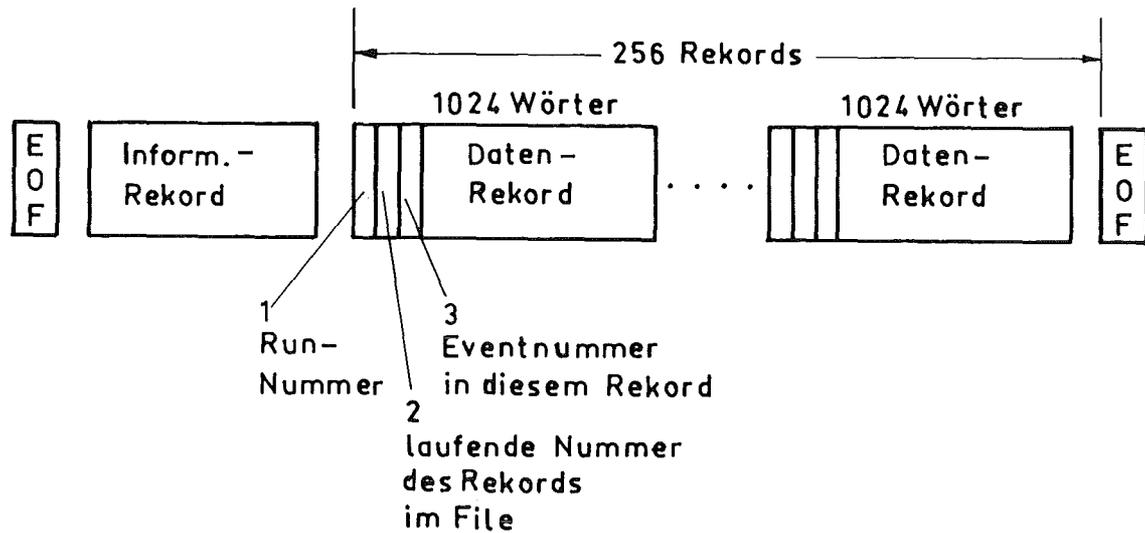


Abb. A1: Band-Konfiguration

Die Daten jedes "Runs" werden mit einem "EOF" (End of File) abgeschlossen. Das Bandende wird durch 2 "EOFs" angezeigt.

Kopierprogramm:

Die Byte-Struktur der IBM-Maschine ist HB (High-Byte), LB (Low-Byte), die der PDP-11 dagegen LB, HB (Abb. A2), deshalb müssen bei den vom Hauptprogramm zu lesenden Daten die Bytes bereits vertauscht sein, wozu ein Kopierprogramm geschrieben wurde.

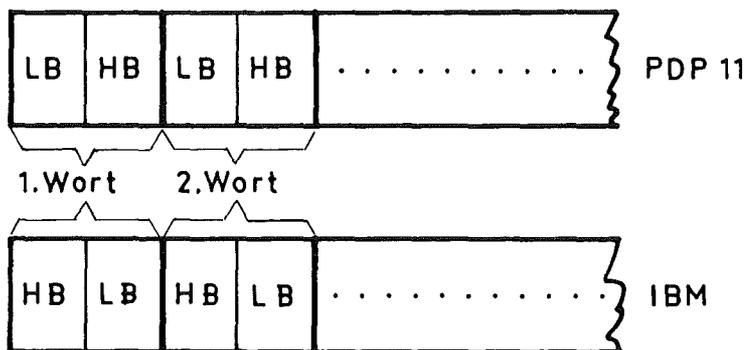


Abb. A2: Byte-Struktur der IBM- und PDP-11 Maschine

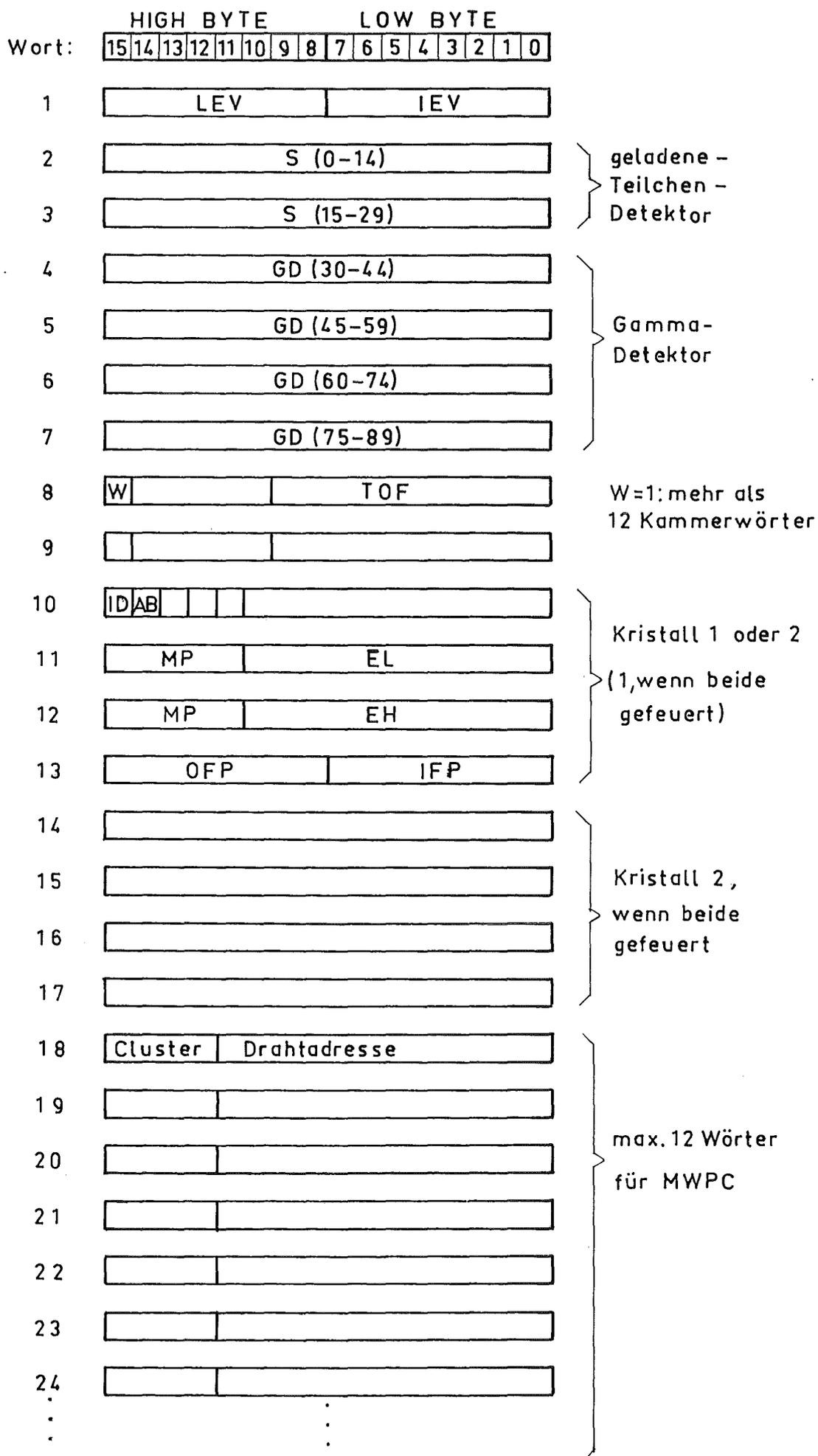


Abb. A3: Eventstruktur der Magnetbänder

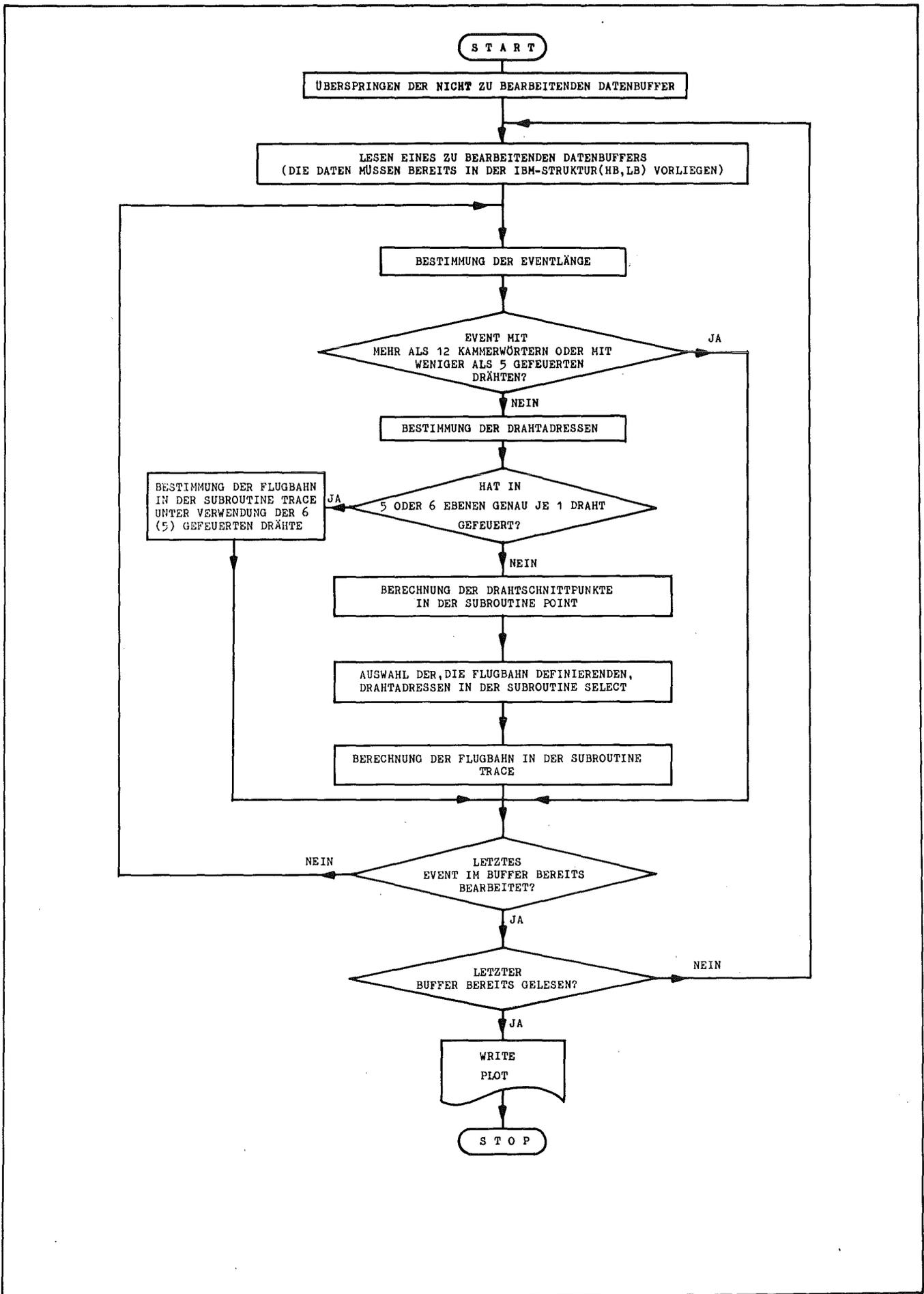


Abb. A4: Grobes Flußdiagramm des Flugbahn-Rekonstruktions-Programmes

1. Beschreibung des Hauptprogrammes

a) Aufgabe:

Das Flußdiagramm in Abb. A4 macht in groben Zügen die Struktur des Flugbahn-Rekonstruktions-Programmes deutlich.

Das Hauptprogramm liest die experimentellen Daten von einem externen Speichermedium (z.B. Magnetplatte) in den Arbeitsspeicher.

Im Hauptprogramm werden Ereignisse mit mehr als 12 Kammerwörtern oder mit weniger als 5 gefeuerten Drähten sofort ausselektiert und nicht weiter bearbeitet. Die gesetzten Drahtadressen werden in das Feld IPLAN(a,b) einsortiert, wobei a die Kammerebenen von 1 bis 6 kennzeichnet ($a_{\max} = 6$) und b die Anzahl der gefeuerten Drähte in der a-ten Ebene anzeigt ($b_{\max} = 8$).

Hat pro Ebene jeweils nur ein Draht gefeuert, so wird direkt das Unterprogramm "TRACE" aufgerufen und dort die Flugbahn berechnet (IFLAG = 1). Wenn jedoch mehrere Drähte in einer Kammerebene angesprochen haben (IFLAG = 0), werden zunächst in den Unterprogrammen "POINT" und "SELECT" die flugbahndefinierenden Drahtadressen ausgewählt und an das Unterprogramm "TRACE" zur Flugbahnrekonstruktion übergeben.

Außerdem enthält das Hauptprogramm Zähler für die Anzahl der bearbeiteten Ereignisse (Events), Rekords, verworfene Events usw..

b) Bereichserklärungen:

2 Byte-Wörter (Integer*2):

IS(2,1024): Die PDP-11 Daten werden Rekord für Rekord nach IS(2,I) eingelesen, da das MSB ^{*)} des 16 Bit-Wortes stets als Vorzeichen interpretiert wird.

ISKIP(1024): Hier werden die Rekords eingelesen, die übersprungen werden.

*) MSB = Most Significant Bit

4 Byte-Wörter:

IL(1024): Belegt den gleichen Speicherplatz wie das Feld IS, dadurch wird erreicht, daß das MSB stets gleich Null ist. Mit diesen Bereichselementen wird gerechnet.

IPLAN(6,8): Enthält die Adressen der angesprochenen Drähte, bereits sortiert nach den einzelnen Kammerebenen.

ICLUST(15): ICLUST (I) enthält die Anzahl der Clusterbreiten I.
Es werden nur flugbahndefinierende Ereignisse einsortiert.

ICL(15): Während der Abarbeitung der Wortschleife werden hier die Clusterbreiten zwischengespeichert. Nachdem das Ereignis vollständig abgearbeitet ist, wird der Inhalt von ICL(I) zu ICLUST(I) addiert.

ICHE(6): Enthält die Anzahl der gefeuerten Drähte in der indizierten Ebene.

z.B.: ICH(4) = 5 bedeutet:

In der 1. Ebene der 2. Kammer (E4) haben 5 Drähte angesprochen.

ISW1(3) und ISW2(3): Aktualparameter des Aufrufes der Subroutine Trace, wenn IFLAG = 1 ist.

C) Common-Block "CALCUL":

NT0: Zählt in der Subroutine TRACE die Ereignisse, die keine korrespondierende Drähte haben. Das bedeutet, durch die gefeuerten Drähte der 1. und 2. Kammer können keine Ebenen gelegt werden.

MTRAC: Zählt die Aufrufe der Subroutine TRACE.

MHIT: Zählt in der Subroutine TRACE die berechneten Durchstoßpunkte der Teilchenspuren durch die Targetmitte.

IPLAN: Übergibt, falls IFLAG = 1, die Adressen der 5 bzw. 6 gefeuerten Drähte an die Subroutine TRACE.

IFLAG: Steuert der Programmverzweigung im Unterprogramm TRACE.

MHCALL: Zählt in der Subroutine TRACE die Aufrufe (Einträge) des HBOOKs.

2. Beschreibung der Subroutine POINT

a) Aufruf dieses Unterprogrammes:

CALL POINT (IPLAN)

b) Aufgabe:

Dieses Unterprogramm wird bei IFLAG = 0 vom Hauptprogramm aufgerufen. Es projiziert die gefeuerten Drähte in eine Ebene und berechnet deren Schnittpunkte. Der Schnittpunkt wird der Mitte der beiden geschnittenen Ebenen zugeordnet, d.h. $y_s = (y_1 + y_2)/2$.

Man erhält somit einen 3-dimensionalen Vektor $(x,y,z) = (a,b,c)$ als einen möglichen Punkt der Teilchenflugbahn.

Diese Schnittpunkte werden für die 1. und 2. Kammer getrennt berechnet und in die Felder CROSP1 und CROSP2 einsortiert. Wurden alle mögliche Kombinationen abgearbeitet, so wird die Subroutine Select aufgerufen. Die hierzu erforderliche Mathematik wird in Kapitel A3 erklärt.

c) Bereichserklärungen:

CROSP1(a,b): Mit $a = 3$, $b = 35$; enthält die Koordinaten der Schnittpunkte der 1. Kammer.

a kennzeichnet die Vektorkomponenten

$a = 1 \implies$ x-Koordinate

$a = 2 \implies$ y-Koordinate

$a = 3 \implies$ z-Koordinate

b nummeriert die Schnittpunkte innerhalb der 1. Kammer durch.

CROSP2(3,35): Enthält die Schnittpunktskoordinaten der 2. Kammer.

IWIRE1(2,35): Dieses Feld enthält die Adressen der zum Schnitt gebrachten Drähte der 1. Kammer, und zwar gibt es zu jedem Schnittpunktvektor zwei zugehörige Drahtadressen.

z.B. erhält man beim Schneiden der Drähte IWIRE1(1,10) und IWIRE1(2,10) den Schnittpunkt

$(x,y,z) = (\text{CROSP1}(1,10), \text{CROSP1}(2,10), \text{CROSP1}(3,10))$

IWIRE2(2,35): Wie IWIRE1, nur für die 2. Kammer.

3. Beschreibung der Subroutine Select

a) Aufruf dieses Unterprogrammes:

```
CALL SELECT ( CROSP1,CROSP2,IWIRE1,IWIRE2,KS,KT )
```

KS: Anzahl der berechneten Schnittpunkte in der 1. Kammer.

KT: Anzahl der berechneten Schnittpunkte in der 2. Kammer.

b) Aufgabe:

Die Aufgabe dieses Programmteiles ist es, aus den angebotenen Drahtadressen diejenigen auszuwählen, welche die Teilchenflugbahnen definieren.

Dies können pro Kammer maximal 3 Drähte sein, die in die Felder ISW1(3) für die 1. Kammer und ISW2(3) für die 2. Kammer einsortiert werden.

Die Parameter ISW1 und ISW2 werden an die Subroutine TRACE übergeben, die damit die Flugbahn berechnet.

c) Selektions-Algorithmus:

Eine Spur (Gerade) kann durch 2 Punkte eindeutig festgelegt werden, dazu sind 4 voneinander unabhängige Parameter notwendig.

Fliegt ein Teilchen durch eine Kammer, so gibt es genau 3 Drähte (Clustermitten), die dieser Spur am nächsten sind. Durch Schneiden dieser 3 Drähten (Geraden) erhält man 3 Punkte im Raum. Da aber jeder dieser Punkte mit einem anderen Punkt eine Drahtadresse gemeinsam hat, legen diese Punkte noch keine Flugbahn fest. Deshalb kann auch eine der gebauten Kammern alleine noch keine Flugbahn festlegen.

Beim manuellen Überprüfen der berechneten Schnittpunkte stellte sich heraus, daß sich von den vielen Schnittpunkten genau 3 pro Kammer dadurch auszeichnen, daß sie fast die gleichen x- und z-Koordinaten haben.

Stellt man sämtliche in der Subroutine POINT berechneten Schnittpunkte beider Kammern in einem Diagramm dar, so erkennt man, daß es gerade die "ausgezeichneten" Schnittpunkte sind, die auf einer Geraden liegen.

Während all die anderen Schnittpunkte so stark verstreut liegen, daß sie unmöglich eine Flugbahn definieren können.

Deshalb verwenden wir folgenden Auswahl-Algorithmus, der sich auch als einziger von den vielen getesteten bewährt hat:

Hat in der einen Kammer pro Ebene nur ein Draht angesprochen, so werden diese Drahtadressen direkt nach ISW1 bzw. ISW2 einsortiert.

Haben in einer Kammer mehr als 3 Drähte angesprochen, so müssen aus den vielen Schnittpunkten, die 3 "ausgezeichneten" Schnittpunkte herausgesucht werden. Dazu werden für die beiden Kammern getrennt die Differenzen der Schnittpunktskoordinaten gebildet.

$$(X_I - X_J) = \Delta X = \text{DIFX}(I,J) \quad \text{Gl. A2.1}$$

$$(Z_I - Z_J) = \Delta Z = \text{DIFZ}(I,J) \quad \text{Gl. A2.2}$$

Die Differenzen zusammengehöriger Schnittpunkte werden addiert

$$\text{SUDIF}(I,J) = \text{DIFX}(I,J) + \text{DIFZ}(I,J) \quad \text{Gl. A2.3}$$

und die 3 kleinsten Differenzensummen ausgesucht. Die zu diesen Differenzen gehörende Drahtadressen definieren die Flugbahn und werden an die Subroutine TRACE übergeben.

d) Bereichserklärungen:

ISW1(3); ISW2(3): Diese Felder enthalten die ausgewählten Drahtadressen der 1. bzw. der 2. Kammer.

ISW1(2,8); ISW2(2,8): Hierin stehen die Adressen der flugbahndefinierenden Drähte, wobei gleiche Adressen mehrmals vorkommen.

DIFX(50,50); DIFZ(50,50): Hier werden die Differenzen der x- und z-Koordinaten zweier Schnittpunkte eingetragen.

z.B.: DIFX(2,7) enthält die Differenz der x-Koordinaten des 2. und 7. Schnittpunktes.

SUDIF(50,50): Enthält die Summen der Differenzen (Gl. A2.3).

4. Beschreibung der Subroutine TRACE

a) Aufruf dieses Unterprogrammes:

α) Aufruf vom Hauptprogramm (IFLAG = 1):

```
CALL TRACE (ISW1,ISW2)
```

Wobei hier den Feldern ISW1 und ISW2 keine Werte zugeordnet werden. Die Wertzuweisung geschieht über den benannten Common Block "CALCUL" und das Feld IPLAN.

β) Aufruf von der Subroutine TRACE:

```
CALL TRACE (ISW1,ISW2)
```

In diesem Fall werden nun den Aktualparametern direkt Werte zugeordnet.

b) Aufgabe:

Dieses Unterprogramm berechnet die Trajektorien der Teilchen.

Dazu werden Ebenen durch die parallel laufenden angesprochenen Drähte der 1. und 2. Kammer gelegt (siehe Kap. A3).

Haben in der einen Kammer nur 2 Drähte gefeuert, so erhält man nur zwei, gegeneinander um 60 Grad gedrehte, Ebenen. Schneidet man nun diese beiden Ebenen, so erhält man, mit dem Fehler der Ortsauflösung der Kammern, die Spur der geladenen Teilchen.

Hat man in jeder Kammer 3 ausgewählte Drähte, so erhält man auch 3 Ebenen, die mit einander geschnitten werden können und somit auch 3 mögliche Spuren. Die arithmetischen Mittel der Komponenten von allen 3 Spuren definieren die wahrscheinlichste Trajektorie.

Das Unterprogramm TRACE berechnet die Durchstoßpunkte der Trajektorien durch die Targetmitte, die Richtungskosinusse, sowie deren Neigungswinkel gegenüber der Strahlrichtung.

c) Bereichserklärungen:

X(3); Y(3); Z(3): Enthalten die Koordinaten der Durchstoßpunkte durch die Targetmitte. Als Ergebnis für den Durchstoßpunkt (x,y,z), nimmt das Programm die arithmetischen Mittelwerte dieser Bereichselemente.

CALPH(3); CBET(3): Die Elemente dieser Felder enthalten die Richtungskosinusse der Spuren. Auch hier werden die arithm. Mittelwerte gebildet.

A3. MATHEMATIK ZUR FLUGBAHN-BERECHNUNG

Die räumliche Anordnung der Kammern und Kammerebenen, sowie die Nummerierung der Ebenen und Drähte ist in Abb. 8 S. 13 dargestellt.

1. Aufstellung der Geradengleichungen der Drähte und Berechnung der Schnittpunktskoordinaten für die Subroutine Point

1.1 Für die Drähte der einzelnen Ebenen gelten folgende Geradengleichungen:

IPLAN(6,8) ist das Feld, das die Drahtadressen enthält.
Es sind maximal 8 Drähte pro Ebene erlaubt.

n: Drahtadresse, siehe Abb. 8

$$\begin{aligned} \text{1. Ebene:} \quad & 0 \leq n = \text{IPLAN}(1, I) \leq 79 \\ & (x, y, z) = (n, 0, z) \end{aligned} \quad \text{Gl. A3.1}$$

$$\begin{aligned} \text{2. Ebene:} \quad & 80 \leq n = \text{IPLAN}(2, I) \leq 159 \\ & (x, y, z) = (x, 10, \tan 30^\circ x + (159 - n) 2 \tan 30^\circ) \end{aligned} \quad \text{Gl. A3.2}$$

$$\begin{aligned} \text{3. Ebene:} \quad & 160 \leq n = \text{IPLAN}(3, I) \leq 239 \\ & (x, y, z) = (x, 20, -\tan 30^\circ x + (239 - n) 2 \tan 30^\circ + 80 \tan 30^\circ) \end{aligned} \quad \text{Gl. A3.3}$$

$$\begin{aligned} \text{4. Ebene:} \quad & 240 \leq n = \text{IPLAN}(4, I) \leq 319 \\ & (x, y, z) = (n - 240, 90, z) \end{aligned} \quad \text{Gl. A3.4}$$

$$\begin{aligned} \text{5. Ebene:} \quad & 320 \leq n = \text{IPLAN}(5, I) \leq 399 \\ & (x, y, z) = (x, 100, \tan 30^\circ x + (399 - n) 2 \tan 30^\circ) \end{aligned} \quad \text{Gl. A3.5}$$

$$\begin{aligned} \text{6. Ebene:} \quad & 400 \leq n = \text{IPLAN}(6, I) \leq 479 \\ & (x, y, z) = (x, 110, -\tan 30^\circ x + (479 - n) 2 \tan 30^\circ + 80 \tan 30^\circ) \end{aligned} \quad \text{Gl. A3.6}$$

1.2 Durch Gleichsetzen der Geradengleichungen erhält man für deren Schnittpunkte folgende Koordinaten:

- a) Die angesprochenen Drähte der 1.Ebene geschnitten mit denen der 2.Ebene:

$$x = \text{IPLAN}(1, I) \quad \text{G1. A3.7}$$

$$y = 5.$$

$$z = \tan 30^\circ \cdot \text{IPLAN}(1, I) + (159 - \text{IPLAN}(2, J)) \cdot 2 \tan 30^\circ \quad \text{G1. A3.8}$$

- b) Die angesprochenen Drähte der 2.Ebene geschnitten mit denen der 3.Ebene:

$$x = \frac{((239 - \text{IPLAN}(3, J)) \cdot 2 \tan 30^\circ + 80 \tan 30^\circ - (159 - \text{IPLAN}(2, I))) \cdot 2 \tan 30^\circ}{2 \tan 30^\circ} \quad \text{G1. A3.9}$$

$$y = 15.$$

$$z = \tan 30^\circ \cdot x + (159 - \text{IPLAN}(2, I)) \cdot 2 \tan 30^\circ \quad \text{G1. A3.10}$$

- c) Die angesprochenen Drähte der 1.Ebene geschnitten mit denen der 3.Ebene:

$$x = \text{IPLAN}(1, I) \quad \text{G1. A3.11}$$

$$y = 10.$$

$$z = -\tan 30^\circ \cdot x + (239 - \text{IPLAN}(3, J)) \cdot 2 \tan 30^\circ + 80 \tan 30^\circ \quad \text{G1. A3.12}$$

Nun folgen die Schnittpunkte in der 2.Kammer.

- d) Die angesprochenen Drähte der 4.Ebene geschnitten mit denen der 5.Ebene:

$$x = \text{IPLAN}(4, I) - 240 \quad \text{G1. A3.13}$$

$$y = 105.$$

$$z = \tan 30^\circ \cdot x + (399 - \text{IPLAN}(5, J)) \cdot 2 \tan 30^\circ \quad \text{G1. A3.14}$$

- e) Die angesprochenen Drähte der 4.Ebene geschnitten mit denen der 6.Ebene:

$$x = \text{IPLAN}(4, I) - 240 \quad \text{G1. A3.15}$$

$$y = 95.$$

$$z = -\tan 30^\circ \cdot x + (479 - \text{IPLAN}(6, J)) \cdot 2 \tan 30^\circ + 80 \tan 30^\circ \quad \text{G1. A3.16}$$

- f) Die angesprochenen Drähte der 5.Ebene geschnitten mit denen der 6.Ebene:

$$x = \frac{((479 - \text{IPLAN}(6, J)) \cdot 2 \tan 30^\circ + 80 \tan 30^\circ - (399 - \text{IPLAN}(5, I))) \cdot 2 \tan 30^\circ}{2 \tan 30^\circ} \quad \text{G1. A3.17}$$

$$y = 100.$$

$$z = \tan 30^\circ \cdot x + (399 - \text{IPLAN}(5, I)) \cdot 2 \tan 30^\circ \quad \text{G1. A3.18}$$

Dabei nehmen I und J die Werte 1, 2, 8 an.

2. Skizzierung der für die Subroutine TRACE benötigten Mathematik

2.1 Aufstellung der Ebenengleichungen:

Die Felder ISW1(I) und ISW2(I), I = 1, 2, 3 enthalten die ausgewählten Drahtadressen, welche die Flugbahn definieren.

a) Gleichung der Ebene, die von den vertikalen Drähten aufgespannt wird:

Die selektierten Drahtadressen hierzu sind ISW1(1) und ISW2(1).

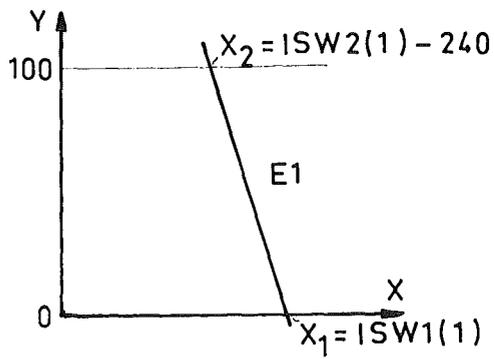


Abb. A5

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} ISW1(1) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} ISW2(1)-240 \\ 100 \\ z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x1 \\ 0 \\ z \end{pmatrix} + \mu \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ z \end{pmatrix}$$

====> Gleichung der Ebene E1 in Parameterform:

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} ISW1(1) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} ISW2(1)-140-ISW1(1) \\ 100 \\ 0 \end{pmatrix} + \mu \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ z \end{pmatrix} \quad \text{Gl. A3.19}$$

bzw. in Punkt-Normalenform:

$$\begin{pmatrix} 100 \\ 240-ISW2(1)+ISW1(1) \\ 0 \end{pmatrix} \cdot \vec{X} - 100 \cdot ISW1(1) = 0 \quad \text{Gl. A3.20}$$

b) Gleichung der Ebene durch die um 60 Grad nach rechts gedrehten Drähten:

Die hierfür selektierten Drahtadressen sind ISW1(2) und ISW2(2).

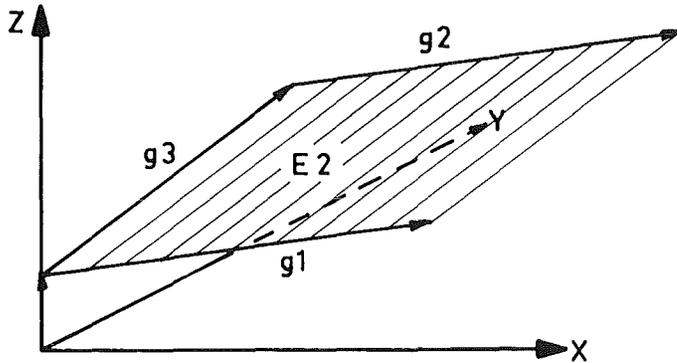


Abb. A6

$$g1: \vec{X} = \begin{pmatrix} 0 \\ 10 \\ (159-ISW1(2))2\tan30^\circ \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \tan30^\circ \end{pmatrix} \quad G1. A3.21$$

$$g2: \vec{X} = \begin{pmatrix} 0 \\ 110 \\ (399-ISW2(2))2\tan30^\circ \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \tan30^\circ \end{pmatrix} \quad G1. A3.22$$

$$g3: \vec{X} = \begin{pmatrix} 0 \\ 10 \\ (159-ISW1(2))2\tan30^\circ \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 100 \\ ((240+ISW1(2))-ISW2(2))2\tan30^\circ \end{pmatrix} \quad G1. A3.23$$

====> Gleichung der Ebene E2 in Parameterform:

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} 0 \\ 10 \\ (159-ISW1(2))2\tan30^\circ \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \tan30^\circ \end{pmatrix} + \mu \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 100 \\ ((240+ISW1(2))-ISW2(2))2\tan30^\circ \end{pmatrix} \quad G1. A3.24$$

bzw. in Punkt-Normalenform:

$$\begin{pmatrix} -57,735 \\ (240-ISW1(2)+ISW2(2))2\tan30^\circ \\ 100 \end{pmatrix} \cdot \vec{X} - (15588,45-127,017 \cdot ISW1(2) + 11.547 \cdot ISW2(2)) = 0 \quad G1. A3.25$$

c) Gleichung der Ebene durch die um 120 Grad nach rechts gedrehten Drähten:

Die hierfür selektierten Drahtadressen sind ISW1(3) und ISW2(3).

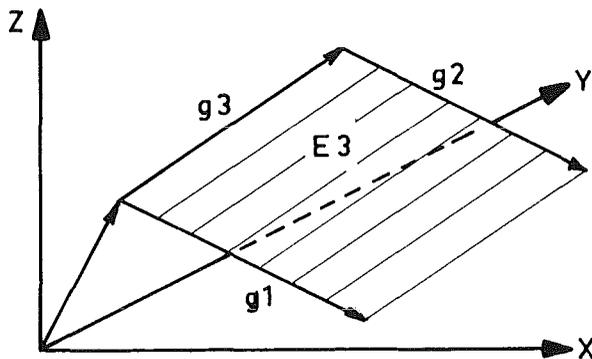


Abb. A7

$$g1: \vec{X} = \begin{pmatrix} 0 \\ 20 \\ (239 - ISW1(3))2\tan30^\circ + 80\tan30^\circ \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -\tan30^\circ \end{pmatrix} \quad G1. A3.26$$

$$g2: \vec{X} = \begin{pmatrix} 0 \\ 90 \\ (479 - ISW2(3))2\tan30^\circ + 80\tan30^\circ \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -\tan30^\circ \end{pmatrix} \quad G1. A3.27$$

$$g3: \vec{X} = \begin{pmatrix} 0 \\ 20 \\ (239 - ISW1(3))2\tan30^\circ + 80\tan30^\circ \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 70 \\ (240 + ISW1(3) - ISW2(3))2\tan30^\circ \end{pmatrix} \quad G1. A3.28$$

====> Gleichung der von g1 und g2 aufgespannten Ebene E3 in Parameterform:

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} 0 \\ 20 \\ (239 - ISW1(3))2\tan30^\circ + 80\tan30^\circ \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -\tan30^\circ \end{pmatrix} + \mu \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 70 \\ (240 + ISW1(3) - ISW2(3))2\tan30^\circ \end{pmatrix}$$

G1. A3.29

2.2 Berechnung der Schnittgeraden der Ebenen

a) Schnittgerade von E1 und E2:

$$E1: \vec{n}\vec{X} - c = 0 \quad \text{Punkt-Normalenform} \quad G1. A3.30$$

$$E2: \vec{X} = \vec{a} + \lambda \cdot \vec{u}_1 + \mu \cdot \vec{u}_2 \quad \text{Parameterform} \quad G1. A3.31$$

\vec{a} : Ortsvektor

\vec{u}_i : Richtungsvektoren

Durch Einsetzen von E2 in E1 erhält man:

$$\vec{n}(\vec{a} + \lambda \cdot \vec{u}_1 + \mu \cdot \vec{u}_2) - c = 0$$

$$\implies \lambda = \frac{c - \mu \vec{n}\vec{u} - \vec{n}\vec{a}}{\vec{n}\vec{u}} \quad G1. A3.32$$

$$\lambda = 0,9 \cdot ISW1(1) + 0,1(ISW2(1) - 240) + \mu(ISW2(1) - 240 - ISW1(1))$$

Damit erhält man für die Schnittgerade:

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} 0,9 \cdot ISW1(1) + 0,1(ISW2(1) - 240) \\ 10 \\ (159 - ISW1(2))2\tan 30^\circ + \tan 30^\circ (0,9 \cdot ISW1(1) + 0,1(ISW2(1) - 240)) \end{pmatrix} + \mu \cdot \begin{pmatrix} ISW2(1) - 240 - ISW1(1) \\ 100 \\ (240 + ISW1(2) - ISW2(2))2\tan 30^\circ + \tan 30^\circ (ISW2(1) - 240 - ISW1(1)) \end{pmatrix}$$

G1. A3.33

b) Schnittgerade von E2 und E3:

Verwendet man für E2 die Punkt-Normalenform und für E3 die Parameterform, so ergibt sich λ aus Gl. A3.32 zu:

$$\lambda = 366 - 1,3 \cdot ISW1(2) + 0,3 \cdot ISW2(2) - ISW1(3) + \mu(72 - 0,7 \cdot ISW1(2) + 0,7 \cdot ISW2(2) + ISW1(3) - ISW2(3))$$

Damit ergibt sich folgende Schnittgerade:

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} 96 + 0,9 \cdot ISW1(2) + 0,1 \cdot ISW2(2) - ISW1(3) \\ 20 \\ 266,735 - \tan 30^\circ \cdot ISW1(3) - \tan 30^\circ \cdot ISW2(2) / 10 - 0,52 \cdot ISW1(2) \end{pmatrix} + \mu \begin{pmatrix} 72 - 0,7 \cdot (ISW1(2) - ISW2(2)) + ISW1(3) - ISW2(3) \\ 70 \\ 235,558 + 0,4 \cdot (ISW1(2) - ISW2(2)) + \tan 30^\circ \cdot (ISW1(3) - ISW2(3)) \end{pmatrix} \quad \text{Gl. A3.34}$$

c) Schnittgerade von E1 und E3:

Verwendet man für E1 die Punkt-Normalenform und für E3 die Parameterform, so ergibt sich λ aus Gl. A3.32 zu:

$$\lambda = 0,8 \cdot ISW1(1) + 0,2 \cdot (ISW2(1) - 240) + 0,7 \cdot (ISW2(1) - 240 - ISW1(1))$$

Hiermit erhält man folgende Schnittgerade:

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} 0,8 \cdot ISW1(1) + 0,2 \cdot (ISW2(1) - 240) \\ 20 \\ (239 - ISW1(3)) \cdot 2 \tan 30^\circ + 80 \tan 30^\circ - 0,8 \cdot ISW1(1) + 0,2 \cdot (ISW2(1) - 240) \end{pmatrix} + \mu \begin{pmatrix} 0,7 \cdot (ISW2(1) - 240 - ISW1(1)) \\ 70 \\ 0,4 \cdot (ISW1(1) + 240 - ISW2(1)) + (240 + ISW1(3) - ISW2(3)) \cdot 2 \tan 30^\circ \end{pmatrix}$$

2.3 Berechnung der Durchstoßpunkte der Teilchen-Flugbahnen durch die Targetmitte

Die allgemeine Gleichung der Spurgeraden lautet:

$$\vec{x} = \vec{a} + \lambda \cdot \vec{u}$$

$$\vec{x} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad \text{Gl. A3.36}$$

Die Targetmitte befindet sich bei $y = 470$ mm

$$\implies y = 470 = a_2 + \lambda \cdot u_2$$

$$\implies \lambda = (470 - a_2) / u_2$$

Setzt man nun λ in die Geradengleichung ein, so erhält man die Koordinaten des Durchstoßpunktes der Teilchen durch die Targetmitte.

$$\vec{x}_s = \begin{pmatrix} a_1 + (470 - a_2)u_1/u_2 \\ a_2 + (470 - a_2) \\ a_3 + (470 - a_2)u_3/u_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{pmatrix} \quad \text{Gl. A3.37}$$

2.4 Berechnung der Richtungskosinusse der Flugbahnen:

Verwendet man in Gl. A3.36 den Einheitsvektor als Richtungsvektor, so stellen dessen Komponenten gerade die Richtungskosinusse dar:

$$\vec{X} = \vec{a} + \lambda' \vec{u} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} + \lambda' \cdot \begin{pmatrix} \frac{u_1}{\sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}} \\ \frac{u_2}{\sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}} \\ \frac{u_3}{\sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}} \end{pmatrix} \quad \text{Gl. A3.38}$$

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} + \lambda' \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \cos \beta \\ \cos \gamma \end{pmatrix} \quad \text{Gl. A3.39}$$

Im Flugbahn-Rekonstruktionsprogramm werden die in Abb. A8 dargestellten Richtungskosinusse und die in Abb. A9 dargestellten Winkel berechnet. Dabei ist α der Winkel zwischen der Projektion des Richtungsvektors in die y-z Ebene und dem Richtungsvektor selbst. β ist der Winkel zwischen der Projektion des Richtungsvektors in die x-y Ebene und dem Richtungsvektor, während γ den Neigungswinkel zwischen Trajektorie und Strahlachse darstellt.

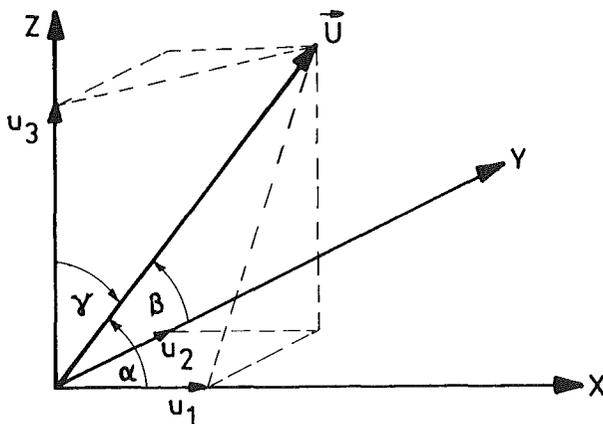


Abb. A8: Richtungskosinusse

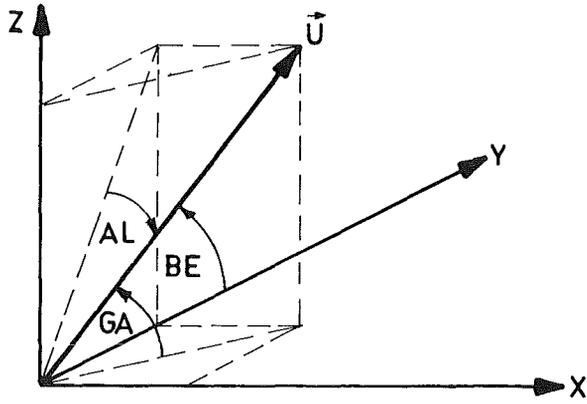


Abb. A9: Berechnete Neigungswinkel

A4. MATHEMATIK ZUR AUSWERTUNG DER WINKEL-AUFSTREUUNGS-MESSUNGEN

Messung von rotationssymmetrischen Winkeln:

Läßt man ein Teilchen unter einem streng definierten Winkel durch das Kammer-System fliegen, so kann das System diesen Winkel nur mit dem Fehler seiner Auflösung reproduzieren. Mit anderen Worten, die Impulsantwort des Kammer-Systems auf eine eindeutig definierte Flugbahn ist eine Verschmierung derselben durch eine 2-dimensionale Gauß-Verteilung, deren Standardabweichung gerade der Kameraauflösung entspricht. Will man nun mit dem Kammer-System Winkel messen, die einer Gauß-Verteilung gehorchen, was z.B. beim Winkelstraggling erfüllt ist, so erhält man die Kammerantwort (Systemantwort) durch Falten der Impulsantwort mit der Winkelverteilung.

Ganz allgemein gilt für die Faltung zweier Funktionen f und g:

$$S(x,y) = \iint_{-\infty}^{+\infty} f(x',y')g(x-x',y-y')dx'dy' \quad \text{Gl. A4.1}$$

wobei S(x,y) die Systemantwort

f(x,y) die abzubildende Funktion und

g(x,y) die Impulsantwort des Systems (Kammer)

darstellt.

Sind f(x,y) und g(x,y) Gaußfunktionen

$$f(x,y) = C_1 \exp(-(x^2+y^2)/2s_1^2) \quad \text{Gl. A4.2}$$

und

$$g(x,y) = C_2 \exp(-(x^2+y^2)/2s_2^2) \quad \text{Gl. A4.3}$$

so lautet die Faltung

$$N(x,y) = C_3 \iint_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{x'^2+y'^2}{2s_1^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(x-x')^2+(y-y')^2}{2s_2^2}\right) dx'dy' \quad \text{Gl. A4.4}$$

$$N(x,y) = C_3 \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{(s_1^2+s_2^2)\left(x'-\frac{xs_1^2}{s_1^2+s_2^2}\right)^2 - \frac{x^2s_1^4}{s_1^2+s_2^2} + x^2s_1^2}{2s_1^2s_2^2}\right) dx'$$

$$\cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{(s_1^2+s_2^2)\left(y'-\frac{ys_1^2}{s_1^2+s_2^2}\right)^2 - \frac{y^2s_1^4}{s_1^2+s_2^2} + y^2s_1^2}{2s_1^2s_2^2}\right) dy'$$

$$N(x,y) = C_3 \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2(s_1^2 + s_2^2)}\right) \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{(s_1^2 + s_2^2)\left(x' - \frac{x s_1^2}{s_1^2 + s_2^2}\right)^2}{2s_1^2 s_2^2}\right) dx' \cdot \\ \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2(s_1^2 + s_2^2)}\right) \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{(s_1^2 + s_2^2)\left(y' - \frac{y s_1^2}{s_1^2 + s_2^2}\right)^2}{2s_1^2 s_2^2}\right) dy'$$

und da $\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-x^2} dx = \sqrt{\pi}$ folgt

$$\underline{N(x,y) = C \cdot \exp\left(-\frac{z^2}{2s^2}\right)} \quad \text{Gl. A 4.5}$$

mit $z^2 = x^2 + y^2$

und $s^2 = s_1^2 + s_2^2$

==> Die Faltung zweier nullpunktssymmetrischer, zweidimensionaler Gaußverteilungen liefert wieder eine nullpunktssymmetrische, zweidimensionale Gaußverteilung, mit der Standardabweichung

$$s = \sqrt{s_1^2 + s_2^2} \quad \text{Gl. A4.6}$$

Geht man nun zu Winkeln über (Abb. A10), d.h.

$$x \longrightarrow \alpha$$

$$y \longrightarrow \beta$$

für kleine Winkel gilt $\sin\theta \approx \theta$

$$\theta^2 = \alpha^2 + \beta^2$$

$$s^2 = s_1^2 + s_2^2$$

so erhält man für die gefaltete Winkelverteilung

$$N(\theta) = C \cdot \exp(-\theta^2/2s^2)$$

Gl. A4.7

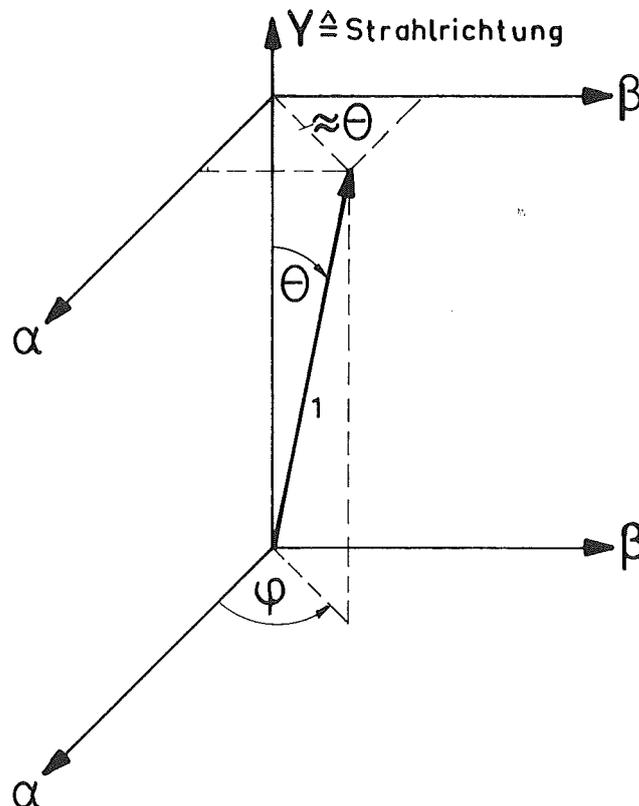


Abb. A10: Koordinatensystem für die Winkel

Da θ rotationssymmetrisch ist, mißt man im Experiment sein Integral über den Azimutwinkel φ .

Die Funktionaldeterminante für Kugelkoordinaten lautet $r \sin\theta d\theta d\varphi$ und für $r = 1$ und $\sin\theta \approx \theta \implies \theta d\theta d\varphi$.

Somit gilt für die gemessene Anzahl der Teilchen, deren Winkel in das Intervall $(\theta - \frac{d\theta}{2}, \theta + \frac{d\theta}{2})$ fallen:

$$dN(\theta) = C \int_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi} \exp(-\theta^2/2s^2) \theta d\theta d\varphi \quad \text{Gl. A4.8}$$

$$\implies \frac{dN(\theta)}{d\theta} = C \int_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi} \exp(-\theta^2/2s^2) \theta d\varphi$$

$$= 2\pi C \theta \cdot \exp(-\theta^2/2s^2)$$

$\frac{dN(\theta)}{d\theta}$ ist die gemessene Winkelverteilung, diese Verteilung besitzt ihr Maximum bei

$$\frac{d^2N(\theta)}{d\theta^2} = 0$$

$$\implies \exp(-\theta^2/2s^2) - \exp(-\theta^2/2s^2) \theta^2/s^2 = 0$$

$$\implies \theta = s = \sqrt{s_1^2 + s_2^2} \quad \text{Gl. A4.9}$$

D.h., die gemessene Winkelverteilung besitzt ihr Maximum, wenn θ gleich der Standardabweichung ist.

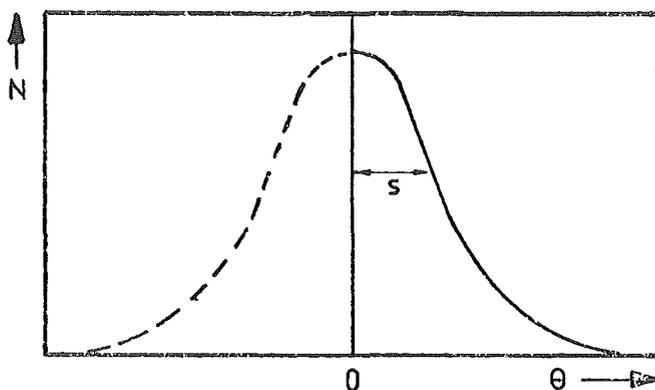


Abb. A11: Winkelverteilung in der Ebene
 $N(\theta) = C \cdot \exp(-\theta^2/2s^2)$

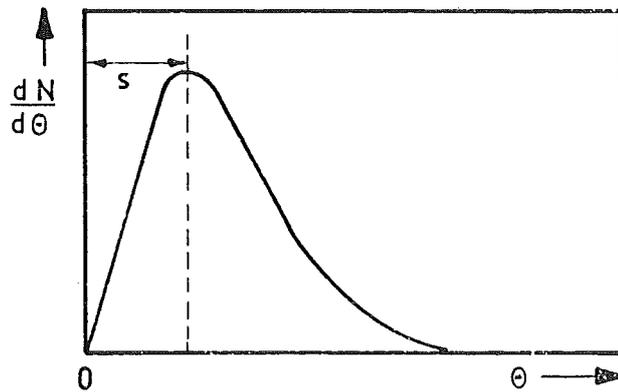


Abb. A12: Gemessene Winkelverteilung

$$\frac{dN(\theta)}{d\theta} = c \cdot \theta \cdot \exp(-\theta^2/2s^2)$$

A5. KAMMERLÄNGE IN G/CM²

Faßt man die Schichten gleicher Materie zusammen (Abb. 7), so besteht die Kammer aus folgenden Schichten:

1. $2 \cdot 10^{-3}$ cm Mylar-Folie
2. 4 cm Argon-Isobutan (7:3)
bei Raumtemperatur und ca. 800 Torr: = $2,1 \text{ g/dm}^3$
3. $4 \cdot 10^{-3}$ cm Aluminium
4. $2,4 \cdot 10^{-5}$ cm Wolfram

Die Massenbelegung der Ausleseebene wurde als homogen angenommen.

Die Kammerdicke in g/cm^2 erhält man, wenn man die einzelnen Schichten mit deren Dichte multipliziert.

$$d(\text{g/cm}^2) = d_1 \rho_1 + d_2 \rho_2 + d_3 \rho_3 + d_4 \rho_4 \quad \text{Gl. A5.1}$$

Eine Kammer besitzt somit eine reduzierte Länge von

$$d = 2,24 \cdot 10^{-2} \text{ g/cm}^2 = \underline{\underline{22,4 \text{ mg/cm}^2}}$$

Daraus ist ersichtlich, daß das Kammer-system auch als letzter, dünner Zähler vor dem Target in den Trigger mit einbezogen werden kann.

Verwendet man nur die letzte Kammerebene als Zähler, so verfügt man über einen extrem dünnen Zähler von nur ca. 6 mg/cm^2 .

A6. TEST-EINHEIT GM/78

Wie bereits in Kapitel 4.1 erwähnt, besteht die Kammer-Ausleseelektronik PCOS II aus den PC 7700 Kammer-Karten und dem CAMAC Kontroller 2700. Während der CAMAC Kontroller computerunabhängig mit Hilfe eines "Manual CAMAC Crate Controllers" getestet werden kann, gab es kein Gerät zum alleinigen Test der PC 7700 Karten. Deshalb entwickelten wir die TEST-EINHEIT GM/78 zum computerunabhängigen Testen der PC 7700 Karten.

Kurze Beschreibung der TEST-EINHEIT GM/78

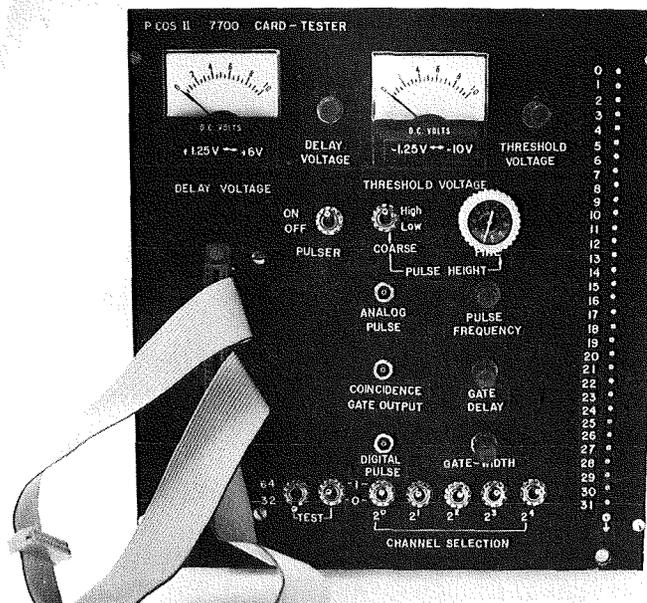


Abb. A13: Frontansicht der TEST-EINHEIT GM/78

Die ausführliche Beschreibung der TEST-EINHEIT GM/78 wurde gesondert in einem Primärbericht veröffentlicht.⁴⁾

Diese Veröffentlichung dient gleichzeitig als "Manual" und wurde in englischer Sprache abgefaßt, deshalb sind auch die hier gezeigten Schaltpläne in englisch beschriftet.

Die TEST-EINHEIT GM/78 simuliert eine Vieldraht-Proportional-Kammer. Sie erzeugt negative, analoge Pulse mit einer Anstiegszeit von ca. 20 ns, einer Abfallszeit von annähernd 200 ns und einer Folgefrequenz von 166 Hz bis 1660 Hz. Die Pulshöhe kann zwischen -1 mV und -50 mV variiert werden. Mit Hilfe von Adressierschaltern ("Channel Selection") auf der Frontplatte, können die simulierten Detektorsignale auf einen der 32 Eingänge der PC 7700 Karten gelenkt werden.

Die TEST-EINHEIT erzeugt einen Einschreibepuls ("Gate Pulse") mit variabler Breite und Verzögerung, der an der Lemo-Buchse "Coincidence Gate Output" abgegriffen werden kann. Im Testbetrieb ist diese Buchse mit der Lemo-Buchse auf der PC 7700 Karte zu verbinden (externer Trigger-Eingang).

Wenn das simulierte Detektorsignal die eingestellte Schwelle überschreitet und mit dem Einschreibepuls in Koinzidenz ist, wird das Signal in das hybridinterne Koinzidenzregister eingeschrieben. Die Schwelle kann mit Hilfe der Schwellen-Kontrollspannung ("Threshold Voltage") von der Frontplatte aus verändert werden.

Ein zweiter, nochmals verzögerter Puls ("Load Pulse") schreibt den Inhalt sämtlicher Hybrid-Koinzidenz-Register parallel in ein 32 Bit Schieberegister der PC 7700 Karte. Danach wird diese Information seriell in das Schieberegister der TEST-EINHEIT geschoben, dessen Inhalt mit Hilfe von 32 Leuchtdioden (LED) an der Frontplatte angezeigt wird.

Ein Transistor (T1) steuert die LED-Anzeige so, daß der Schiebevorgang bereits beendet ist, wenn der Registerinhalt der TEST-EINHEIT an der Frontplatte erscheint. Vor dem nächsten Schiebezyklus wird die Anzeige wieder gelöscht.

Mit dem Schalter "Pulser-on-off" (Abb. A16) wird der "Hauptpulsgenerator", im Wirkschaltplan (Abb. A18) mit ① gekennzeichnet, an- und ausgeschaltet. Dieser Pulsgenerator, dessen Frequenz mit Hilfe des Potentiometers "Pulse Frequency" zwischen 166 Hz und 1660 Hz kontinuierlich verändert werden kann, bestimmt den zeitlichen Abstand aller anderen Pulse. Damit wird erreicht, daß sämtliche Signale auf einem Oszillographen-Bildschirm darstellbar sind.

Zum Testen von PC 7700 Karten, kann die Frequenz und die Amplitude der Analogpulse (simulierte Detektorsignale), die Diskriminatorschwelle, die Verzögerung und die Breite des Einschreibepulses variiert werden.

Die gesamte Elektronik der TEST-EINHEIT ist entsprechend der jeweiligen Aufgabe auf drei Leiterplatten verteilt und in einen 5 NIM-Einheiten breiten NIM-Einschub installiert. Die Platinen sind über steckbare Flachbandkabel mit den Elementen auf der Frontplatte verbunden.

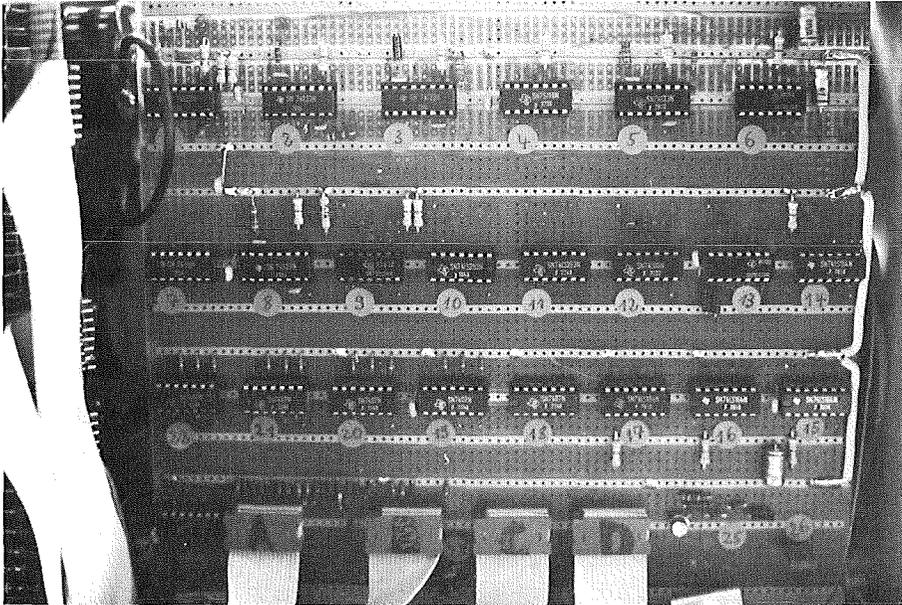


Abb. A14: Platine mit dem digitalen Schaltungsteil

Abb. A14 zeigt die Platine mit dem digitalen Teil der Schaltung. Die Funktionsweise dieses Schaltungsteils kann man sich an Hand des Wirk-schaltplanes (Abb. A18) erklären, Abb. A17 zeigt die dazugehörige Pinbelegung.

Das Photo in Abb. A15 zeigt die Platine mit dem analogen Schaltungsteil, dessen Wirkungsweise aus Abb. A19 hervorgeht.

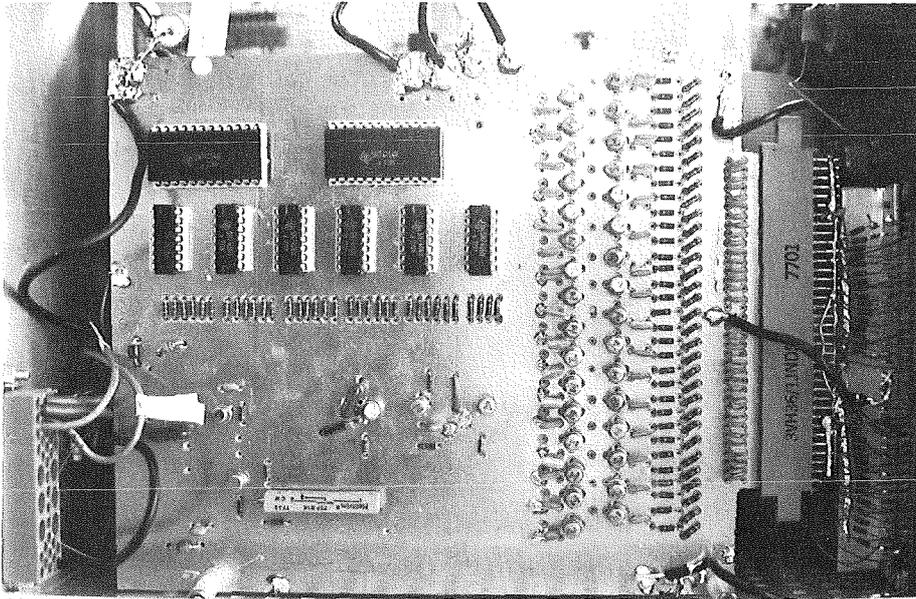
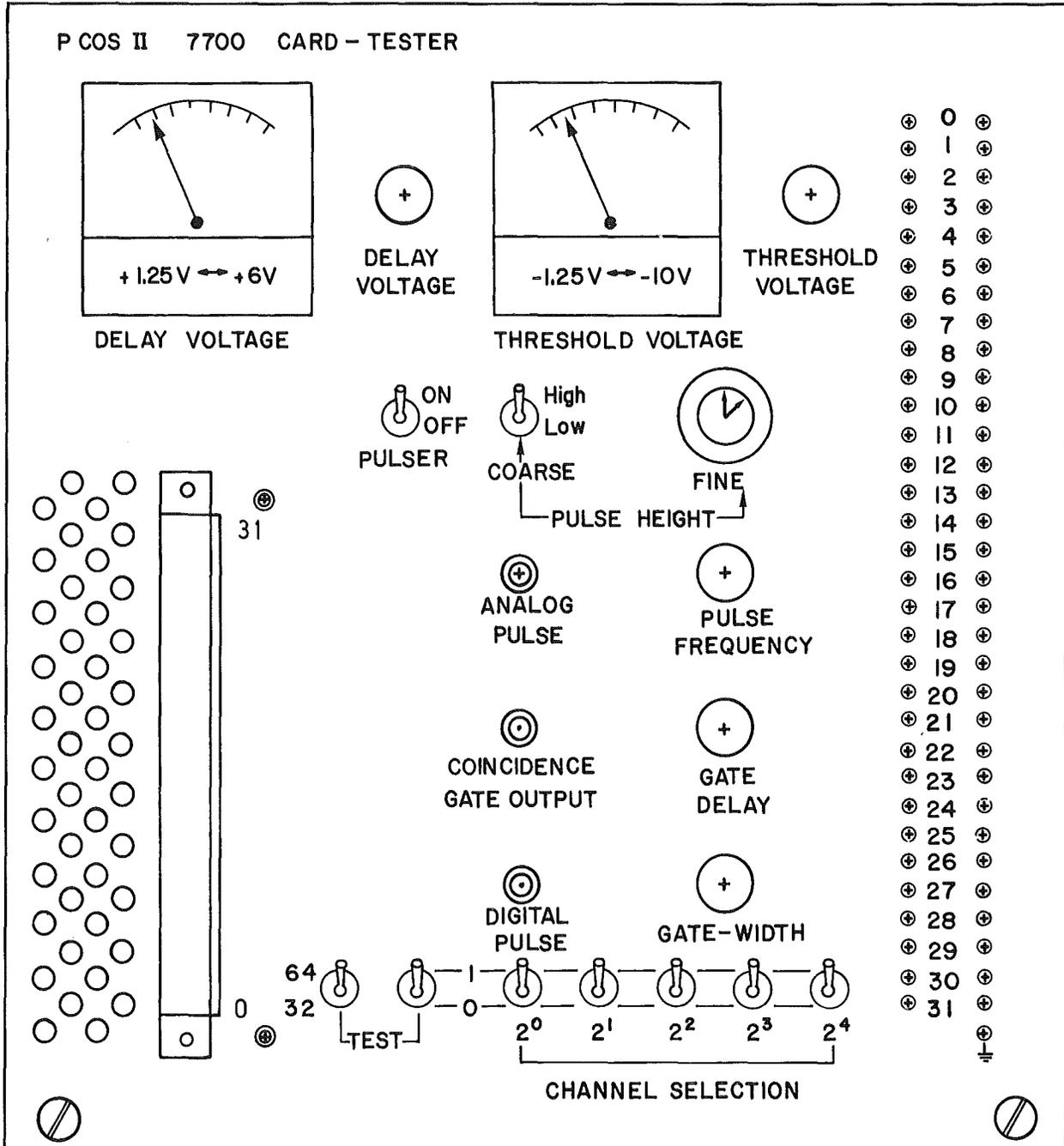


Abb. A15: Platine mit dem analogen Schaltungsteil

Die dritte Platine, die räumlich zwischen der Digital- und Analog-Platine angeordnet ist, enthält die Spannungsregler und übernimmt die Verteilung der Versorgungsspannung (Abb. A20).

In Abb. A20 ist das Zusammenwirken der TEST-EINHEIT mit der PC 7700 Karte dargestellt. Diese Abbildung enthält ein Blockschaltbild der PC 7700 Karte, der Spannungsregler, sowie ein grobes Schema der TEST-EINHEIT und den Datenbus. Außerdem befinden sich auf diesem Plan die Funktionsdiagramme für die Schwellen- und die Verzögerungskontrollspannung. Aus diesen Diagrammen entnimmt man die eingestellte Schwelle in Mikro-Ampere (μA), bzw. die eingestellte Verzögerung in Nanosekunden (ns) für die jeweils eingestellte Schwellen- bzw. Verzögerungskontrollspannung, die an den entsprechenden Spannungsmessern an der Frontplatte abgelesen werden können.



3.79 Glückner

Abb. A16: Frontplatte der TEST-EINHEIT GM/78

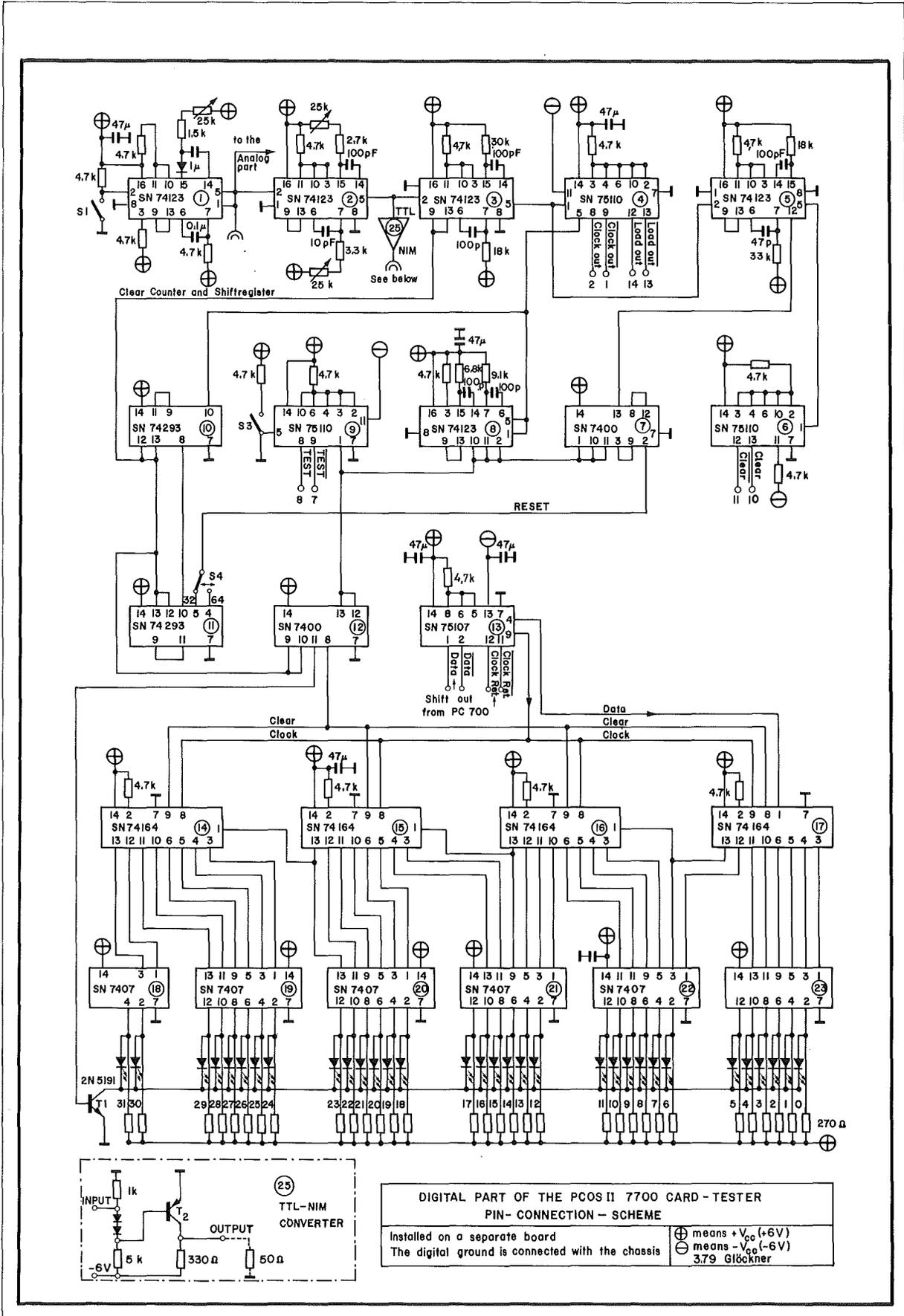


Abb. A17: Pin-Belegungsplan

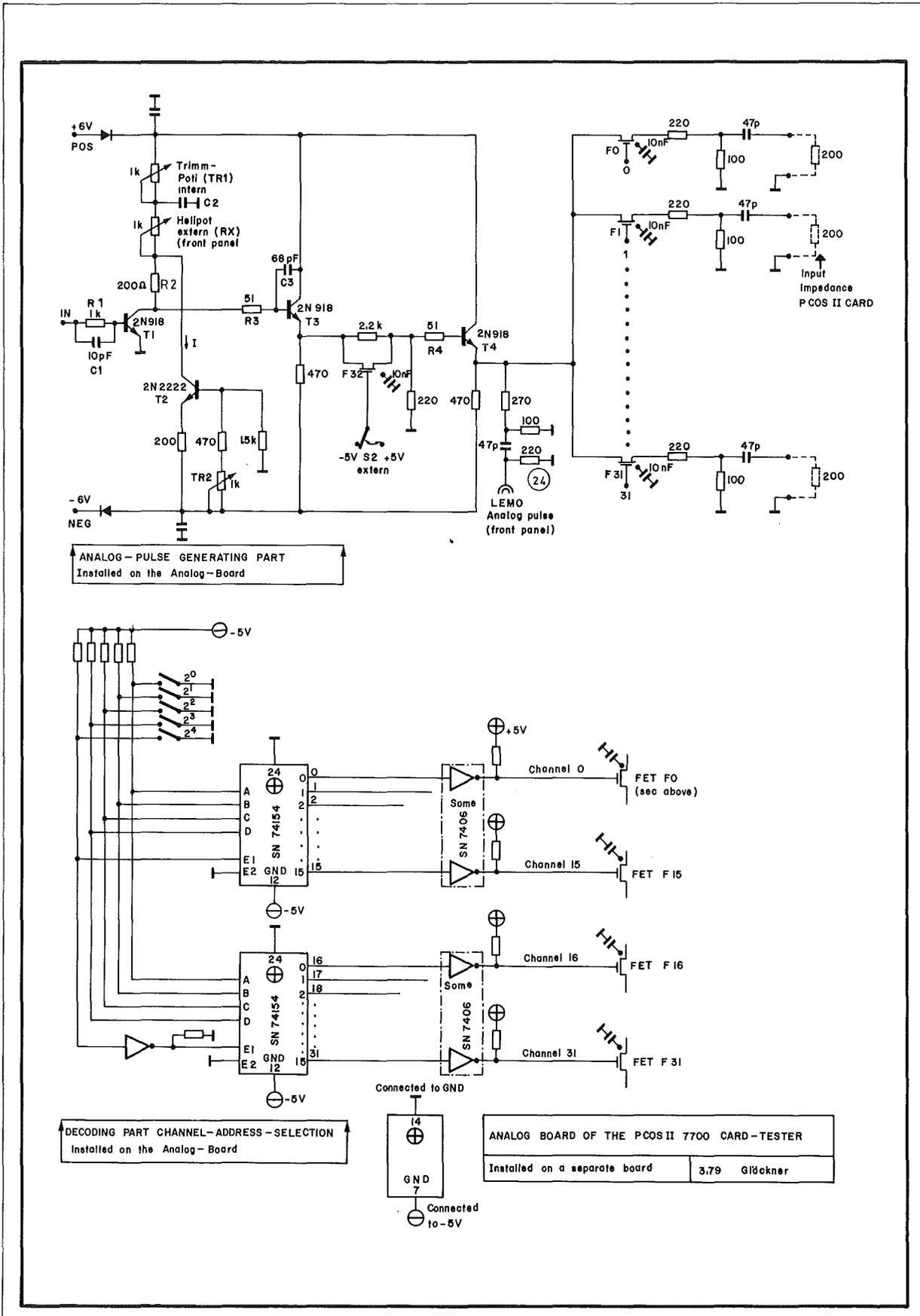


Abb. A19: Wirkschaltplan des analogen Teils

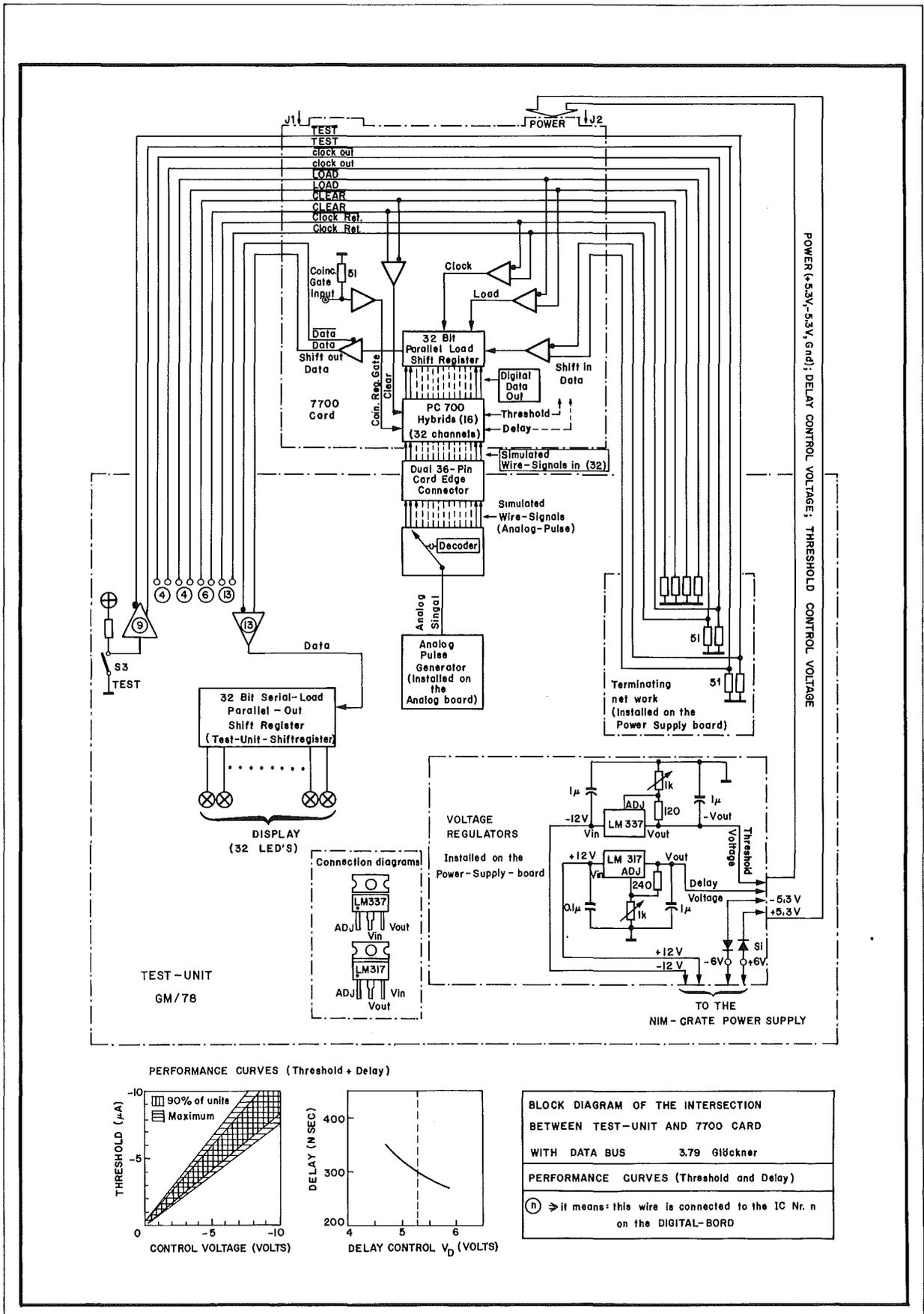


Abb. A20: Das Zusammenwirken der einzelnen Schaltungsteilen

LITERATURVERZEICHNIS:

1. P. Pavlopoulos et al.
Physics Letters 72B (1978) 415-21
2. P. Pavlopoulos
Dissertation KFK-Ext. 3/78-4
3. Th. Köhler
Monte Carlo Simulation des "Blei-Sandwich-Szintillations-
Zählersystems"
Diplomarbeit, UNI Karlsruhe
wird veröffentlicht
4. H.J. Glöckner, M. Meyer
unveröffentlichte Ergebnisse
5. F. Sauli
CERN, Yellow-Report 77-09 (1977)

P. Rice + Evans
Spark, Streamer, Proportional and Drift Chambers
London: Richelieu (1974)
6. W. Lausch
Kernenergie, Heft Nr.5 (1974) S. 129-35
7. Wolfgang Wrazidlo
Diplomarbeit, UNI Karlsruhe (1977)
8. F. Sauli
CERN, private Mitteilung

9. D. Friedrich and F. Sauli
unveröffentlichte Ergebnisse
10. Beschreibung des "PROPORTIONAL CHAMBER OPERATING SYSTEM PCOS II"
der Fa. Le Croy
11. Hammerström
private Mitteilung
12. R. Guigas
On-Line-Programm
Version Gamma 8
private Mitteilung
13. Nuclear Science Series 39
Studies in Penetration of Charged Particles in Matter (1964)
14. M. Dörr
Kernforschungszentrum Karlsruhe
Private Mitteilung
15. P. Marmier
Physics of Nuclei and Particles
New York Academic Pr. (1969)
16. E. Fermi
Nuclear Physics
University of Chicago Pr. (1963)