Die Durchstoßpunkte der Teilchen durch die innere Lage erhält man dadurch, daß die Einzellagen unterschiedlichen Wicklungssinn aufweisen. Bereits bei zwei Lagen mit unterschiedlichem Wicklungssinn ergeben sich so Kreuzungspunkte, die der Vertexrekonstruktion dienen können. Die innere Lage des EDDA-Detektors ist aber aus vier Einzellagen aufgebaut. Die 1. und 3. Lage sind "rechtsgewickelt", 2. und 4. Lage sind "linksgewickelt". Durch den Aufbau aus vier Einzellagen erhält man eine verbesserte Nachweiseffizienz und die Vermeidung von Mehrdeutigkeiten, wie sie sich bei der Kinematik der elastischen pp-Streuung und einer zweilagigen Anordnung ergeben würden [LAH 92]. Die höhere Nachweiseffizienz erreicht man dadurch, daß die gleichgewickelten Lagen so gegeneinander verschoben sind, daß bei minimal durchflogener Wegstrecke in einer Lage die durchflogene Wegstrecke in der zugehörigen zweiten Lage für jeden Winkel Θ maximal ist (Abb.2.1), [DOR 93], [WIE 91].

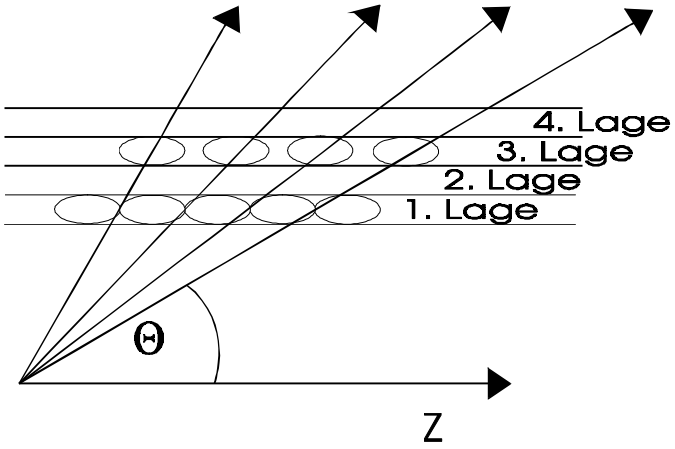

Abb. 2.2 Schematische Darstellung der optimierten Anordnung der Fasern. Für minimale Durchflugstrecke in der einen Lage ist die Strecke in der dazugehörigen, gleichsinnig gewickelten Lage maximal (hier 1. und 3. Lage ; beide "rechtsgewickelt").

Dadurch werden die "Lücken", die zwischen zwei benachbarten Fasern entstehen, überdeckt. Die Fasern werden über Multianodenphotomultiplier in Rückwärtswinkeln ausgelesen (Abb. 2.6). Die Datenauswertung erfolgt über eine leicht modifizierte Frontend-Elektronik, die ursprünglich zum Auslesen von Drahtkammern entwickelt wurde und eine Reduzierung der Datenmenge bietet (s. Kap 2.1.4).

2.1.1 Szintillierende Fasern

Die in der inneren Lage verwendeten szintillierenden Fasern wurden von der Firma Kuraray bezogen (Fasertyp SCSF-81 NC) [KUR]. Sie haben einen runden Querschnitt und bestehen aus einem Kern ("Core", ∅≈2,5mm) und das den Core umhüllende "Cladding" (50 ± 10 μm) (Abb.2.3). Als Abschlußschicht wird EMA (extra mural absorber) (Bicron BC-620) auf die Fasern aufgebracht.

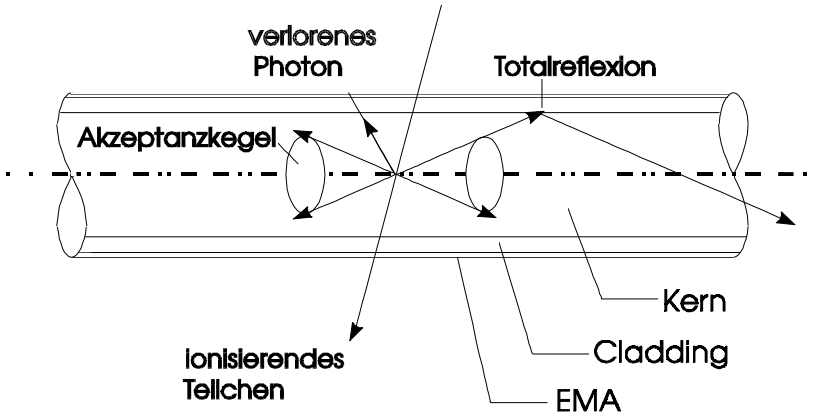

Abb. 2.3 Schematische Darstellung der verwendeten szintillierenden Fasern und des Lichttransports über Totalreflexionion

Der Fasercore besteht aus Polystyrol $[CH(C_6H_5)\text{-}CH_2]_n$ und ist mit Wellenlängenschiebern (WLS) schwach dotiert. Im Core wird beim Durchgang ionisierender Teilchen Licht erzeugt, das zum größten Teil von den WLS absorbiert wird, die es bei Emission zu größeren Wellenlängen hin verschieben. Dadurch wird die Autoabsorption durch das Szintillatormaterial unterdrückt. Das Maximum der Emissionsspektrums liegt bei 437 nm [KUR 91]. Die dünne Cladding-Schicht besteht aus einem transparenten Kunststoff mit einem kleinerem Brechungsindex (n_{cl}=1,42) als der des Cores (n_{core}=1,59). Dadurch wird der Lichttransport über Totalreflektion an den Übergängen Core-Cladding und Cladding-Luft ermöglicht. Eine weitere Aufgabe des Claddings ist der Schutz des Fasercores vor chemischen und mechanischen Beschädigungen. Die zum Schluß aufgebrachte EMA-Schicht hat die Aufgabe, ein Übersprechen zwischen den Fasern zu verhindern. Das aus dem Cladding austretende Licht wird dabei im EMA teilweise reflektiert. Beim Auftragen von EMA geht allerdings die Totalreflektion beim Übergang Cladding-Luft verloren. Die Eignung szintillierender Fasern für den Bau der inneren Lage wurde bereits untersucht [WIE 91], [DOR 93], [ZIE 93], [ENG 93]. Wie aus Abb.2.1 zu erkennen, sind im Bereich des Targets vier Vakuumstutzen vorhanden. Einige Fasern, die sogenannten "Stutzenfasern", müssen an diesen Stellen individuell um die Vakuumstutzen geführt werden. Es sind dabei kleine Radien notwendig, die nicht durch elastische Verformung sondern nur durch thermoplastisches Biegen der Faser erreicht werden können. Alle übrigen Fasern, die "Normbogenfasern", müssen zur Ankopplung an die Photomultiplier ebenfalls gebogen werden und erhalten alle den gleichen Biegeradius. Für die Biegung der Fasern wurde ein thermoplastisches Verfahren entwickelt [ENG 93]. Entscheidend für die Verwendbarkeit der Fasern ist neben der ursprünglichen Lichtausbeute, dem Verhalten bei Alterung und äußeren Einflüssen das Verhalten bei dieser thermoplastischer Verbiegung [ZIE 93]. Der verwendete Fasertyp Kuraray SCSF-81 zeigte unter den getesteten Fasertypen das günstigste Verhalten. Es konnte gezeigt werden, daß die Beschichtung einer geraden Faser mit EMA das Übersprechen der Fasern verhindert und die Lichtausbeute erhöht [ENG 93]. Weitere Untersuchungen ergaben, daß sich eine Beschichtung der Fasern mit EMA in den Bereichen der Biegung

nachteilig auf den Lichttransport auswirkt. Aus diesem Grund bleiben die Fasern in den Biegebereichen unbeschichtet. Die Fasern werden in Rückwärtswinkeln über Vielkanalphotomultiplier ausgelesen. Die Ankopplung erfolgt über Koppelkissen aus Silikon. An den Faserenden in Vorwärtswinkeln werden zur Vorbereitung eines LED-Monitors dünne Lichtleiter angekoppelt. Ein LED-Monitor ermöglicht durch Einkoppeln von definierten Lichtpulsen in die Fasern einen Test der gesamten Signalstrecke Faser- Photomultiplierkanal und nachfolgender Elektronik, nicht aber des Szintillationsprozesses.
Die Beurteilung und der Vergleich der Fasern erfolgt in Voruntersuchungen unter gleichen Testbedingungen über deren Pulshöhenspektren, mit deren Hilfe die Lichtausbeute über die Zahl der im Photomultiplier ausgelösten Photoelektronen quantifiziert werden kann. Bei den Voruntersuchungen dient zur Aufnahme der Pulshöhenspektren eine ^{90}Sr-Quelle und ein Einkanalphotomultiplier der Firma Hamamatsu vom Typ 1635-02 (s. Kap. 2.1.3).

2.1.2 Multianodenphotomultiplier Hamamatsu R4760

Die 640 szintillierenden Fasern der inneren Lage des EDDA-Detektors werden über 16-Kanal-Photomultiplier der Firma Hamamatsu vom Typ R4760 einzeln ausgelesen (s. Abb. 2.6).
Die 16 Dynodensysteme dieses Photomultipliers haben eine gemeinsame Spannungsversorgung und ein gemeinsames Gehäuse. Dadurch erreicht man einen kompakten Aufbau, der im EDDA-Experiment wünschenswert ist. Gegenüber einer vergleichbaren Lösung mit Einkanalphotomultipliern erhält man auch einen kostengünstigeren Aufbau. Das Maximum der spektralen Empfindlichkeit des R 4760 liegt bei 420nm und somit im Bereich des Maximums des Emissionsspektrums der Szintillierenden Fasern. Das Übersprechen (Crosstalk) zwischen den einzelnen Kanälen einer Röhre liegt laut Herstellerangabe bei 3 ‰. Dieser Wert konnte in einem exemplarischen Test bestätigt werden [ZIE 93]. Da keine Photomultiplier mit gleichbleibend hoher Qualität lieferbar waren, standen im Mittel nur 15 nutzbare Kanäle pro Photomultiplier zur Verfügung. Es wurde eine Photomultiplierhalterung für maximal 44 Photomultiplier entwikkelt (s.Abb. 2.1) [ENG 93]. Die Kriterien für die Verwendbarkeit der Photomultiplier sind:

- Lage des Einelektronensignals (Single-Electron-Peaks) damit auch die Verstärkung der einzelnen Kanäle
- Quanteneffizienz

Die Eigenschaften der Photomultiplierkanäle können anhand von Pulshöhenspektren beurteilt werden.

2.1.3 Pulshöhenspektren

Wichrige Informationen, die zum Test der inneren Lage und der weiteren Signalverarbeitung notwendig sind, gewinnt man aus Pulshöhenspektren (s. Abb. 2.4). Ein Pulshöhenspektrum ist das Ergebnis aller Eigenschaften von Faser, Photomultiplierkanal und nachfolgender Elektronik. Die Aufnahme eines Pulshöhenspektrums erfolgt einen Analog-Digital-Converter (ADC). Der Detektor soll so beschaffen sein, daß der Nachweis möglichst aller elastisch gestreuten Protonen gelingt. An die Datenaufnahme wird später nur die Information geliefert, welche der 640 Fasern getroffen wurde. Eine geeignete Testmethode (s.Kap. 3 + 4) sorgt dafür, daß die untersuchten Eigenschaften mit den Verhältnissen im Experiment vergleichbar sind.

Abb. 2.4 Typisches Pulshöhenspektrum

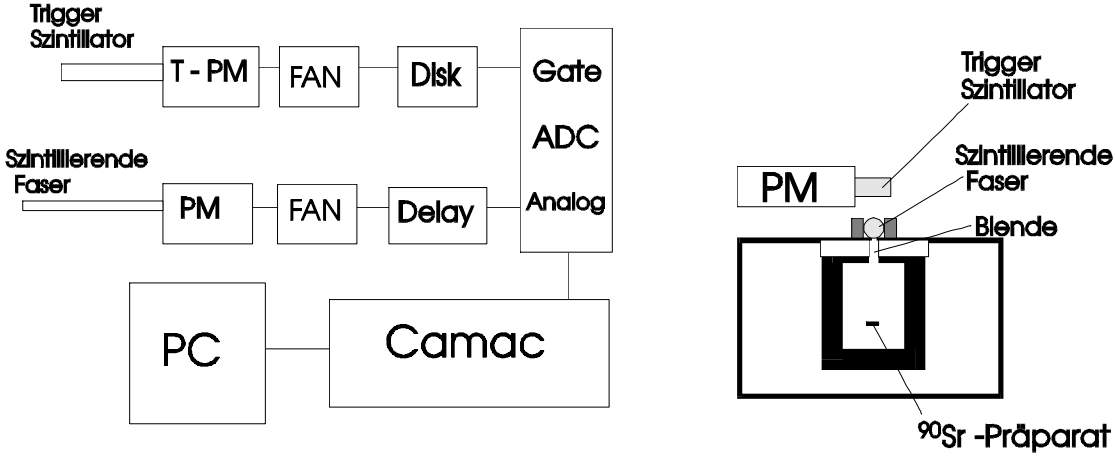

Abb. 2.5 Schaltung und Versuchsaufbau zur Aufnahme von Pulshöhenspektren. Disk: Diskriminator, PM: Photomultiplier, T:Trigger.

In Abb 2.5 ist der Testaufbau und die Schaltung dargestellt, wie sie bei den Fasertests (s. Kap. 2.2) verwendet wurde. Abb. 2.5 zeigt das dazugehörige Pulshöhenspektrum. Im Fan wird dem negativen Spannungssignal des Photomultipliers ein negativer Gleichspannungsanteil (Offset) überlagert. Löst der Trigger ein Gate-Signal aus, ohne daß ein Photomultipliersignal am Analogeingang des ADC anliegt, so wird diese Offset-Spannung integriert und legt somit die Lage des Nullpunktes im Pulshöhenspektrum fest. Es entsteht ein schmaler Peak im Spektrum, der sogenannte "Nullkanal". Alle Einträge rechts vom Nullkanal sind eine Überlagerung von "echten" Photomultipliersignalen und Rauschen. Forderung für das EDDA-Experiment ist der Nachweis jedes gestreuten Protons mit hoher Wahrscheinlichkeit. Für die verwendete Kombination Faser-Photomultiplierkanal ergibt sich die Forderung, daß der durch ein Proton ausgelöste Lichtimpuls ausreicht, um im Mittel 7-10 Photoelektronen aus der Kathode des Photomultipliers

herauszulösen. Die Ermittlung der Anzahl der ausgelösten Photoelektronen kann auf zwei unterschiedliche Arten erfolgen [WIE 91]:
1. Bestimmung der Anzahl der Photoelektronen über eine Eichung des Pulshöhenspektrums.

Ist die Lage des Peaks im Pulshöhenspektrum, bei dem im Mittel nur ein Elektron ausgelöst wird bekannt, so kann aus der Lage des Peaks im Testspektrum auf die im Test vorhandene mittlere Anzahl von Photoelektronen geschlossen werden.

$$N_{PE} = \frac{\text{Verstärkung}_{SEP} \cdot \text{Kanalzahl}_{signal}}{\text{Verstärkung}_{signal} \cdot \text{Kanalzahl}_{SEP}} \qquad (2.1)$$

Die Kanalzahlen bezeichnen dabei den Abstand des Peakschwerpunktes vom Nullkanal. Die Verstärkungsfaktoren beinhalten die Verstärkung von Elektronik und Photomultiplier.
Das Einelektronensignal erhält man durch Ankopplung der Faser an einen LED-Pulser (s.Kap. 3.3). Die LED kann in ihrer Intensität gesteuert werden. Wird die Intensität des LED-Signal soweit abgeschwächt, daß sich der Peak im Pulshöhenspektrum nicht weiter zum Nullkanal verschiebt, sondern nur noch verkleinert, so ist dies die Lage des SEP. Das Pulshöhenspektrum kann so unter der Annahme der Linearität und eines geringen thermischen Rauschens des Photomultipliers geeicht werden [WIE 91]

2. Bestimmung der Anzahl der Photoelektronen aus Lage und Breite des Peaks im Spektrum

Bei diesem Verfahren zur Bestimmung der Photoelektronenzahl wird davon ausgegangen, daß es sich bei der Verteilung im Pulshöhenspektrum um eine Poissonverteilung handelt:

$$f(n,\mu) = \frac{\mu^n \cdot e^{-\mu}}{n!} \quad \text{mit} \quad \sigma = \sqrt{\mu} \qquad (2.2)$$

(μ = Mittelwert der Verteilung, hier $\mu = \text{const} \cdot N_{PE}$, σ = Standardabweichung der Verteilung, f = Wahrscheinlichkeitsdichte)

Ist die Photoelektronenzahl $\mu > 10$, so kann die Verteilung durch eine Gaußverteilung angenähert werden. Für die Gaußverteilung kann σ aus der Halbwertsbreite (FWHM) der Verteilung ermittelt werden:

$$\sigma = \frac{FWHM}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot \ln 2}} \qquad (2.3)$$

Der Mittelwert μ der Verteilung ist proportional zur mittleren Anzahl der ausgelösten Photoelektronen:

$$\mu = \text{const} \cdot N_{PE} \quad \Rightarrow \quad \sigma = \text{const} \cdot \sqrt{N_{PE}} \qquad (2.4)$$

(Die Konstante beinhaltet die Verstärkungen von Elektronik und Photomultiplier unter der Annahme, daß dieser im linearen Bereich arbeitet.) Damit ergibt sich:

$$\frac{N_{PE}}{\sqrt{N_{PE}}} = \frac{\mu}{\sigma} \quad \Rightarrow \quad N_{PE} = \left(\frac{\mu}{\sigma}\right)^2 \qquad (2.5)$$

und schließlich

$$N_{PE} = \left(2 \cdot \sqrt{2 \cdot \ln 2} \frac{\mu}{FWHM} \right)^2 \qquad (2.6)$$

Der Mittelwert μ der Verteilung ergibt sich aus dem Schwerpunktlage des Peaks im Pulshöhenspektrum. Somit läßt sich aus dem Mittelwert der Verteilung und der Halbwertsbreite die Anzahl der im Mittel ausgelösten Photoelektronen berechnen. Im Pulshöhenspektrum ist das Rauschen des Photomultipliers enthalten. Es liegt im Bereich des SEP, der sich typischerweise wenige ADC-Kanäle rechts vom Nullkanal befindet. Zur weiteren Signalverarbeitung ist eine deutliche Trennung des Rauschens vom Nutzspektrum erforderlich. Dies ist nur möglich, wenn sich zwischen Nullkanal und Peakmaximum ein deutliches Minimum abzeichnet (s. Abb. 2.4). Durch die nachfolgende Elektronik wird an geeigneter Stelle eine Schwelle gesetzt. Oberhalb dieser Schwelle wird jedes Signal der weiteren Datenauswertung zugeführt. Ist im Spektrum kein deutliches Minimum vorhanden, kann dies ein Hinweis auf eine zu geringe Photoelektronenzahl, Hochspannungsüberschläge in Photomultiplier oder Störungen in der Elektronik sein. Nur bei ausreichender Photoelektronenzahl und einem störungsfreien Pulshöhenspektrum finden die getesteten Komponenten Verwendung im EDDA-Experiment. Vorwiegend durch Unterschiede in der Verstärkung der einzelnen Photomultiplierkanäle erhält man aber bei vergleichbarer Photoelektronenzahl unterschiedliche Signalamplituden. Eine Anpassung der unterschiedlichen Signalamplituden an die Auswerteelektronik wurde entwickelt [ZIE 93].

2.1.4 Signalverarbeitung / Frontend-Elektronik

Das Auslesen der Photomultipliersignale erfolgt über das PCOS III System(Proportional Chamber Operating System) der Firma LeCroy [LCR 92]. Das PCOS III System wird ursprünglich zur Aufnahme von Drahtkammersignalen verwendet. Es bietet eine Datenreduktion, da von den 640 Kanälen nur diejenigen ausgelesen werden, die ein Signal liefern. Es besteht aus folgenden Komponenten (s. Abb. 2.6) :

1. Vorverstärker-/Diskriminatorkarte 2735 PC
In einer Karte werden die 16 analogen Eingangssignale verstärkt und in logische ECL Signale umgewandelt. Die Schwelle kann über Camac-Befehle für alle 16 Kanäle gemeinsam eingestellt werden und ist in 256 Schritten einstellbar. Die Camac-Befehle werden über das Camac-Interface eingegeben.

2. Kanal-Receiver-Modul 2731
Diese Karte stellt die Verbindung zwischen Vorverstärker-/Diskriminatorkarte und dem Camac-Controller dar. Sie ist in der Lage 32 Kanäle zu verarbeiten. Sie dient dabei als Speicher- und Verzögerungseinheit. Die Verzögerung kann dabei in in einem Bereich von 300 - 682.5 ns in 1.5 ns Schritten eingestellt werden. Die logischen ECL Signale der Karte 2735 PC werden als 32 Bit Wort gespeichert. Ist mindestens eins der 32 Bits gesetzt wird zusätzlich ein LAM-Signal (**L**ook **A**t **M**e) gesetzt.

3. Der Camac-Controller 2738
Der Controller liest nur diejenigen Receivermodule aus, bei denen das LAM gesetzt ist. Auf diese Weise wird eine Datenreduktion erreicht. Der Controller ist ein doppeltbreiter Camac-

Einschub, der seine Informationen über zwei Ausgänge weitergibt. Ein Ausgang liefert ein 16 Bit Wort an ein Camac-Interface mit dessen Hilfe die Daten zur weiteren Auswertung auf Band geschrieben werden. Der zweite Ausgang liefert ECL-Signale zur schnellen Online-Analyse. Ein Camac-Crate mit einem Controller 2738 wird als "dedicated Camac-Crate" bezeichnet. In einem solchen Crate ist eine schnellere Datenübertragung möglich.

4. Buffer / Camac-Interface 4299
Über dieses Interface wird die Datenaufnahme über Camac-Standard realisiert. Alle Camac-Befehle an das PCOS -System z. B. das Einstellen der Schwellen in der Diskriminatorkarte werden über dieses Interface durchgeführt.

Abb. 2.6 Übersicht über die Datenaufnahme der inneren Lage

In Abb. 2.6 ist eine Übersicht über die Datenaufnahme der inneren Lage dargestellt. Die Photomultipliersignale werden zunächst auf das PCOS III geführt, die das Triggersignal der äußeren Lage erhält. Das um ca. 150 ns gegen die Signalen der äußeren Lage verzögerte Triggersignal kann durch einstellbare Verzögerungszeiten des PCOS III von 200 - 682.5 ns zeitlich an die Signale der inneren Lage angepaßt werden.

Die Signale der Photomultiplier haben im Vergleich zu Drahtkammersignalen eine höhere Amplitude und ein anderes Zeitverhalten. Aus diesem Grund müssen die Signale der Photomultiplier an das PCOS III angepaßt werden. Unterschiede in der Verstärkung der Photomultiplierkanäle verursachen bei vergleichbarer Photoelektronenzahl Unterschiede in den Signalamplituden. Die Unterschiede in den Signalamplituden müssen ausgeglichen werden, damit das Setzen einer gemeinsamen Schwelle für mehrere Photomultiplierkanäle gleiche Auswirkungen hat. Als Ergebnis einer gelungenen Anpassung erhält man einen homogenen Detektor, der in allen Kanälen gleiche Nachweiseffizienz für Protonen im EDDA-Experiment hat. Ein vor die Vorverstärker-/ Diskriminatorkarte geschalteter einstellbarer Spannungsteiler (s.Abb. 2.7) ermöglicht die individuelle Anpassung der Photomultiplier untereinander und zugleich die Anpassung an die Datenaufnahme. Der Abgleich durch die Spannungsteiler wird in Kap. 3.4 beschrieben.

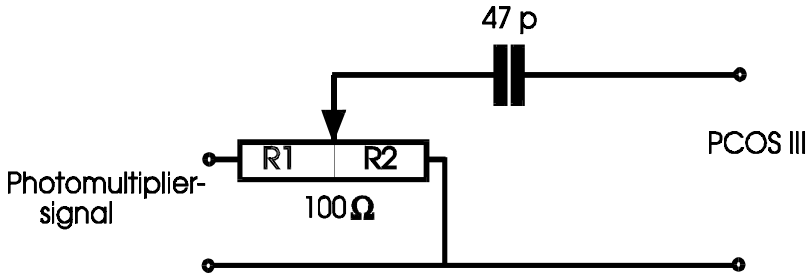

Abb. 2.7 Der Spannungsteiler zum Abgleich Photomultipliersignale.
Der Gesamtwiderstand des Trimmpotentiometers beträgt 100 Ω.

Die Einbindung der Signale der inneren Lage in die Datenaufnahme des EDDA-Experiments ist vorbereitet. Das Triggersignal für das PCOS III wird dabei von der Außenschale geliefert [LAH 92].

2.2 Aufbau der inneren Lage

Die genaue Konzeption der inneren Lage ist in den vorhergehenden Arbeiten entwickelt worden [WIE 91], [LAH 92]. In diesem Abschnitt soll kurz auf die einzelnen Schritte beim Aufbau der inneren Lage eingegangen werden. Beim Aufbau kam es darauf an, vorhandene Qualitätsunterschiede der Fasern und der Photomultiplierkanäle auszugleichen um, über eine möglichst gleiche Anzahl der Photoelektronen einen homogenen Detektor zu erhalten. Konstruktionsbedingt sind in den Stutzenbereichen, wie in Kap. 2.1.1 bereits erwähnt, besonders starke Biegungen der Fasern notwendig. Durch die Biegungen ergeben sich Lichtverluste von bis zu 50%. Durch eine Auswahl von Fasern mit hoher Lichtausbeute für diese Bereiche sollten diese Lichtverluste ausgeglichen werden. Vor dem Aufbau waren insgesamt drei Zuordnungen notwendig, die letztlich die genaue Position und den zugehörigen Photomultiplierkanal jeder einzelnen Faser bestimmten.
Für den Aufbau werden die Fasern zunächst auf Überlänge zugeschnitten und mit EMA beschichtet. Lediglich im Bereich der Biegestelle bleiben sie unbehandelt (s. Kap 2.1.1). Danach werden alle Fasern einzeln getestet (s. Testaufbau in Abb. 2.5). Fasern mit einer hohen Anzahl ausgelöster Photonen werden für die Stutzenbereiche vorgesehen. Alle übrigen Fasern werden als Normbogenfasern verwendet. Anschließend werden die Fasern im Bereich der Biegestelle thermoplastisch verformt [ENG 93]. Nach einem erneuten Test in Verbindung mit eventuellen Reperaturen und Erneuerungen erhält jede Faser eine individuelle Position auf dem Trägerrohr.

Dabei ist die Lage der Stutzenfasern bereits festgelegt. Auf diese Weise erhält man einen kompletten Satz von 640 Fasern für den Aufbau der inneren Lage.
Für die Durchführung des Aufbaus der inneren Lage bleibt nur noch die Zuordnung zu den Photomultiplierkanälen. Dazu wurden alle Photomultieplierkanäle getestet und in vier Qualitätsstufen eingeteilt. Auf der Grundlage der so eingeteilten Photomultiplierkanäle und der Fasertests findet eine Einteilung der Faser zu einem bestimmten Photomultiplierkanal statt. Diese Einteilung wird so gewählt, daß die vorhandenen Qualitätsunterschiede ausgleichen und eine möglichst gleichhohe Anzahl von Photoelektronen erreicht wird.
Die 160 Fasern jeder Einzellage werden auf speziell dafür gefertigte Trägerrohre aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK) aufgeklebt. Zur genauen Fixierung der Fasern sind in die Trägerrohre Führungsrillen eingefräst. Bevor die Fasern aufgeklebt werden, werden sie für die Verwendung des LED-Monitors vorbereitet. Hierzu werden dünne Lichtleiter an dem vom Target abgewandten Ende befestigt. Anschließend werden die Fasern auf das Trägerrohr geklebt. An der Seite, an denen die Fasern an die Photomultiplier angekoppelt werden sollen, werden sie entsprechend gekürzt und poliert. Die Ankopplung an die entsprechenden Photomultiplierkanäle geschieht über Koppelkissen aus Silikon. Die Position der Photomultiplier auf der dafür vorgesehenen Halterung richtet sich nach der Lage der anzukoppelnden Fasern. So werden z.B. Fasern der ersten Lage auf vorwiegend auf innenliegende Photomultiplier geführt. Auf diese Weise vermeidet man ein zu häufiges Kreuzen von Fasern.
Durch einen abschließenden Test der gesamten ersten Lage wird die Funktionstüchtigkeit überprüft und die Anpassung an die Frontend-Elektronik erreicht.Nach eventuellen Nachbesserungen wird die erste Lage durch das Auftragen einer leicht lösbaren Klebemasse versiegelt. Die Trägerrohre sind so bemessen, daß zwischen Faseroberkannte einer Lage und Innendurchmesser des nächsten Trägerrohres 0.3 mm Spiel auftreten. Dadurch ist es möglich, die Faserlage mit einer dünnen Kaptonfolie zu umhüllen. Kaptonfolie hat günstige mechanische Eigenschaften, die die Faserlage schützen und das Aufschieben und Demontieren des nächsten Trägerrohres erleichtern. Für den Einbau der inneren Lage in den EDDA-Detektor müssen die Fasern von den Photomultipliern abgekoppelt werden. Bei der anschließenden Wiederankopplung dürfen keine Lichtverluste auftreten.

2.3 Testnotwendigkeiten

Aus den bisher gemachten Ausführungen wird die Notwendigkeit einer Funktionskontrolle der inneren Lage vor dem Einbau im Cooler Synchrotron in Jülich deutlich. Die einzelnen Testpunkte werden hier noch einmal zusammengestellt:

- Es ist zu untersuchen ob für jeden Photomultiplierkanal die erforderlich Anzahl von mindestens 7-10 Photoelektronen im EDDA-Experiment erreicht wird
- Die innere Lage ist aus vier übereinanderliegenden Einzellagen aufgebaut. Insgesamt werden 640 Fasern verarbeitet. Bei der Ankopplung der Photomultiplier werden die Fasern auf die erforderliche Länge zugeschnitten. Dabei können Beschädigungen auftreten, die zu hohen Lichtverlusten führen. Defekte oder unzureichende Fasern aus überdeckten Lagen können im Nachhinein nur mit hohem Aufwand ausgewechselt werden. Daher muß jede Lage einzeln getestet werden, bevor die nächste Lage montiert wird.
- Die Funktion der letztlich verwendeten Photomultiplier ist ebenfalls vor dem Einbau zu überprüfen.
- Die Anpassung an die Fronend-Elektronik, d.h. der Abgleich der einzelnen Signale, muß vor dem Einbau erfolgen, um einen möglichst homogenen Detektor zu erhalten.
- Eine gesicherte Zuordnung der logischen Fasernummern zu den der Datenaufnahme

zugeführten Signalen muß festgestellt und dokumentiert werden.
- Es muß untersucht werden, ob die Wiederankopplung der Fasern an die Photomultiplier zu reproduzierbaren Ergebnissen der Lichtausbeute führt. Dies setzt insbesondere eine gleichbleibende Qualitäten der Koppelkissen voraus.

Die daraus resultierenden Foderungen an den Testaufbau und das Testverfahren sind:
- Der Test soll die Funktionstüchtigkeit der Fasern und Photomultiplierkanäle in Hinblick auf die erforderliche Photoelektronenzahl überprüfen.
- Das Testverfahren soll die Anpassung an die Frontend-Elektronik ermöglichen.
- Der sukzessive Test der einzelnen Lagen muß durch den Testaufbau möglich sein.
- Der Testaufbau muß die Geometrie der inneren Lage berücksichtigen.

3. Der Test der inneren Lage

3.1 Allgemeine Vorüberlegungen

Zur Beantwortung der Frage, mit welchem Hilfsmittel und nach welchem Verfahren die innere Lage des EDDA-Detektors am besten zu testen sei, werden zunächst mehrere Testverfahren nach Eignung für den Test der inneren Lage untersucht. Im Folgendem werden drei Möglichkeiten kurz diskutiert:

1.Funktionskontrolle mittels Höhenstrahlung

Kosmische Höhenstrahlung wird häufig bei der Untersuchung von Szintillatoren häufige angewendet. Allerdings handelt es sich dabei fast ausschließlich um großflächige Szintillatorelemente. Die Höhenstrahlung ist eine sehr durchdringende Strahlung die zu ca. 75 % aus Myonen besteht [PPB 94]. Teilchenfluss und Winkelabhängigkeit lassen sich berechnen [PPB 94]. Es ist die Verwendung eines großflächigen Triggers unterhalb der innere Lage denkbar, bei der gleichzeitig alle Fasern einer Einzellage getestet werden können. Dabei ist allerdings eine Normierung der Zählraten auf den von jeder Faser unterschiedlich abgedeckten Raumwinkel nötig. Bei der Berechnung des Raumwinkels ist der individuelle Verlauf jeder einzelnen Faser zu berücksichtigen. Es wurden Labormessungen zur Winkelverteilung und zum Teilchenfluss durchgeführt. Gleichzeitig wurde eine Simulation zur Berechnung der Normierungsfaktoren erarbeitet [ROS 94]. Durch einen Langzeittest wurde festgestellt, daß der Teilchenfluss im Tagesverlauf nicht konstant war. Um einen Vergleich mit den Verhältnissen im EDDA-Experiment durchführen zu können, muß die Energie der Teilchen und damit der Energieverlust in den Fasern bekannt sein.

2. Elektronenstrahl vom Bonner Synchrotron ELSA

Am Testplatz T3 des Bonner Synchrotrons ELSA können Tests mit minimalionisierenden Elektronen durchgeführt werden. Der Strahl im Synchrotron wird an einem Wolframdraht gestreut. Dabei entsteht Bremsstrahlung, die an einer Aluminiumfolie in ein Elektron-Positronpaar konvertiert [SCH 93]. Ein Dipolmagnet trennt Elektronen von Positronen. Die Elektronen können dann für Testmessungen genutzt werden. Bei diesem Verfahren kann ein ausreichender Teilchenfluss erreicht werden. Testmessungen an ELSA sind allerdings nur im Rahmen vorher zu beantragender Strahlzeiten möglich. Für die Testphase der inneren Lage sollte der Testaufbau jederzeit zu Verfügung stehen. Darüberhinaus ist bei dieser Testmessung eine Bewegung des

Detektors und damit ein hoher mechanischer Aufwand notwendig. Desweiteren muß der Detektor mehrmals zum Testplatz transportiert werden. Dies verursacht eine vermeidbare mechanische Belastung.

3.Testmessungen mit einer beweglichen Quelle

Testmessungen mittels einer geeigneten beweglichen Strahlen-Quelle erscheinen zunächst unproblematisch. Bei der Handhabung einer ^{90}Sr-Quelle lagen bereits einige Erfahrungen vor [WIE 91]. Der Einsatz einer beweglichen Quelle verursacht aufgrund des geringen Gewichts und der kompakten Abmessungen nur einen geringen mechanischen Aufwand. Die Fasern müssen im montiertem Zustand auf einem Rohr aus Aluminium mit einer Wandstärke von 5 mm getestet werden. Die Elektronen der ^{90}Sr-Quelle haben nach der empirischen Beziehung von KATZ und PENFOLD [MAR 77] (s.Kap. 3.2) eine abgeschätzte Reichweite in Aluminium von maximal 4 mm. Da die Elektronen einer ^{90}Sr-Quelle ein Aluminiumrohr der Wandstärke von 5mm nicht durchdringen können, ist eine Triggerung vor der Durchdringung der szintillierenden Faser notwendig. Um Erfahrungen mit einer solchen Triggeranordnung zu sammeln, wurden einige Testmessungen durchgeführt. Die Tests mit einer ^{90}Sr-Quelle zeigten, daß eine ausreichende Zählrate und eine hohe Triggereffizienz durch die Verwendung eines 0.5 mm dicken Triggerplättchens aus szintillierendem Material möglich ist. Da alle Voruntersuchungen bereits mit einer stationären ^{90}Sr-Quelle durchgeführt wurden, besteht zudem die Möglichkeit, die gewonnenen Ergebnisse direkt miteinander zu vergleichen.

Fazit:
Eine Funktionskontrolle der inneren Lage mit kosmischer Höhenstrahlung ist möglich. Eine Anpassung der Signale an die Frontend-Elektronik, bei der es auf konstanten Teilchenfluss ankommt, beinhaltet große Schwierigkeiten.4 Zum einen ist die Rekonstruktion des Teilchenflusses durch die einzelnen Fasern nötig, zum anderen sind aufgrund des geringen Teilchenflusses lange Messzeiten nötig. Ein Vergleich der Anzahl der gewonnenen Photoelektronen mit den zu erwartenden Photoelektronenzahlen erscheint ebenfalls problematisch. Ein Funktionstest am Elektronenstrahl von ELSA ist im Prinzip möglich. Die Funktionskontrolle mittels einer beweglichen Strahlen-Quelle verbindet einen vergleichsweise einfachen Meßaufbau mit der Möglichkeit, jederzeit und ohne Nutzung fremder Ressourcen messen zu können. Die Triggerung vor dem zu untersuchenden Element bedarf noch einer genaueren Betrachtung (s. nächstes Kapitel). Aufgrund dieser Vorüberlegungen und Voruntersuchungen wurde ein Testaufbau mit einer beweglichen ^{90}Sr-Quelle entwickelt.

3.2 Die ^{90}Sr-Quelle

^{90}Sr zerfällt in einem Zweistufenprozeß zunächst zu ^{90}Y und schließlich zu ^{90}Zr jeweils als ß Zerfallsprozeß unter Aussendung von Elektronen. Dabei werden im ersten Schritt Elektronen mit einer Maximalenergie von 0.546 MeV und im zweiten Schritt Elektronen mit E_{max}=2.284 MeV beobachtet. Für die Verwendung der ^{90}Sr-Quelle im Testaufbau ist eine eingehende Betrachtung des Betaspektrums unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen hinsichtlich des verwendeten Triggers notwendig. Dabei ist auf die Reichweite, den Energieverlust und die Kleinwinkelstreuung einzugehen. Die Langzeitstabilität ist durch eine Halbwertszeit des ^{90}Sr von 28.5 Jahren gegeben. Ohne Coulombkorrektur läßt sich das Spektrum der ^{90}Sr-Quelle als Überlagerung zweier Betaspektren darstellen. Mit