5.1 Die Ankopplung der Fasern an die Photomultiplier

Nachdem die ersten Fasern aufgeklebt waren, zeigte sich, daß fast alle Fasern bei der Ankopplung an die Photomultiplier eine leichte elastische Biegung vollziehen mußten. Bei der Ankopplung mehrerer Fasern an einen Photomultiplier wurden so starke Spannungenkräfte auf die gefederte Ankopplungsvorrichtung ausgeübt, daß eine senkrechte Ankopplung der Fasern an die Photomultiplier nicht optimal gewährleistet war. Aus diesem Grund wurden individuell für jeden Photomultiplier Adapterringe angefertigt, die eine geradlinige und spannungsfreie Ankopplung der Fasern an die Photomultiplier ermöglichten.
Während der Montage und Tests der inneren Lage ergibt sich die Notwendigkeit des mehrmaligen Ab- und Wiederankoppelns von Photomultipliern. Dabei zeigte sich, daß sich durch Wiederankopplung der Photomultiplier die Pulshöhenspektren teilweise erheblich änderten. In Abb. 5.1 ist das Pulshöhenspektrum einer Faser vor und nach Wiederankopplung gezeigt.

Abb. 5.1 Das Pulshöhenspektrum einer Faser vor (1) und nach (2) Wiederankopplung

Zunächst mußte die Ursache für die Veränderung der Pulshöhenspektren gefunden werden und dann für wiederholbare Meßergebnisse nach der Wiederankopplung der Photomultiplier gesorgt werden.
Durch mehrere Messungen konnte gezeigt werden, daß die Ursache in der Veränderung der Pulshöhenspektren durch die Ankopplung über die Koppelkissen aus Silikon zu finden ist. Es konnte weder eine Veränderung der polierten Faserenden noch der Kathodenfenster der Photomultiplier festgestellt werden. Bei der Ankopplung der Fasern an einen Photomultiplierer werden diese zunächst gemeinsam auf einen Ankopplungsteil geführt und fixiert [ENG 93]. Bei der anschließenden Ankopplung über eine Multipliermaske, in deren Fenster sich die Koppelkissen aus Silikon befinden, kann es durch verschmutzte und in ihren Abmessungen schwankenden Koppelkissen zu Schwankungen bei der Lichtübertragung auf die Photomultiplier kommen. Für eine wiederholbar gute Lichtübertragung auf die Photokathode ist eine gleichbleibende Qualität

der Koppelkissen Vorraussetzung. Dies betrifft die Abmessungen der Koppelkissen, die Lichtübertragungseigenschaften und die Qualität der Oberflächen. Von einer mehrmaligen Verwendung der Koppelkissen ist wegen der Verschmutzungsgefahr abzusehen. Durch die Verwendung einer neuen zweikomponentigen Silikonmasse wurden Materialverbesserungen erzielt [WOL 94]. Es wurde ein Herstellungsverfahren für die Koppelkissen entwickelt, daß es ermöglicht Koppelkissen gleichbleibend hoher Qualität herzustellen . Mit den so hergestellten Koppelkissen konnte bei Wiederankopplung innerhalb der Messungenauigkeit von ± 1 PE eine gleichhohe Anzahl von Photoelektronen erzielt werden.

5.1 Besonderheiten des Triggers

Bei der Aufnahme der ersten Pulshöhenspektren zeigte sich ein zusätzlicher Peak etwa im Bereich des Einelektronensignals neben dem Nullkanal. Dieser zusätzliche Peak trat in allen aufgenommenen Spektren mit unterschiedlicher Amplitude auf (s.Abb. 5.2)

Abb. 5.2 Pulshöhenspektrum PM Nr. 24 PM-Kanal 14 Es ist ein zusätzlicher Peak neben dem Nullkanal zu erkennen.

Auch bei wiederholten Messungen mit unterschiedlichen Ankopplungen (optisches Fett, Koppelkissen aus Silikon) ergab sich ein ähnliches wie in Abb. 5.2 gezeigtes Spektrum.
Um mit Sicherheit auszuschließen, daß es sich bei diesem zusätzlichen Peak nicht um unerwünschte Eigenschaften der inneren Lage handelte, mußten geeignete Untersuchungen durchgeführt werden.
Insbesondere stellte sich die Frage warum bei allen Voruntersuchungen kein derartiger Effekt aufgetreten war.
Es wurden Tests zu folgenden Fragestellungen durchgeführt:

1. Wird der zusätzliche Peak durch das Einkoppeln eines Störsignals oder durch eine fehlerhafte Elektronik hervorgerufen?

2. Handelt es sich bei dem zusätzlichen Peak um ein Übersprechen (Crosstalk) zwischen Photomultiplierkanälen oder Fasern?
3. Durch welche Maßnahmen kann er beseitigt werden?

1. Zunächst wurde die NIM-Elektronik auf Störungen untersucht. Störungen in den Pulshöhenspektren können durch schwankende Gatebreiten der Diskriminatoren verursacht werden. Dazu wurden konstante Spannungen auf die Eingänge der ADC-Karte gegeben. Würde es sich um eine Störung durch eine schwankende Gatebreite handeln, so würde im ADC-Spektrum eine stark verbreiterte Linie zu sehen sein. Dies konnte auch bei der Aufnahme eines TDC-Spektrums nicht beobachtet werden. Um ein Einkoppeln externer Störsignale auszuschließen, wurde die aufgebaute Elektronik auf Masseschleifen untersucht. Es wurden auch Tests in einem lichtdichten Schrank durchgeführt, in dem man von eventuellen Masseproblemen des Testaufbaus unabhänig war. Es konnten keine Störungen an der Elektronik festgestellt werden. Anschließend wurden die Photomultiplier auf Störungen untersucht, da es sich bei dem zusätzlichen Peak um unerwartet hohes Rauschen hätte handeln können. Dazu wurden Rauschspektren aufgenommen. Es wurde ein Rauschen von 10 -100 Hz im Bereich des Einphotoelektronensignals beobachtet. Damit konnte diese Hypothese ausgeschlossen werden.
Als nächstes wurden Untersuchungen der Photomultiplier mit unterschiedlichen HV-Einstellungen durchgeführt. Durch eine geringere Hochspannung wird eine geringere Verstärkung der Photomultiplier erreicht. Dies zeigte sich in einer Verschiebung des Spektrums zu niedrigeren ADC-Kanälen. Es ergibt sich das gleiche Bild wie bei der Abschwächung der Photomultipliersignale durch einen Vorwiderstand (s. Abb.3.9). Bei sehr geringer Verstärkung reicht die Auflösung des ADC nicht aus, um den zusätzlichen Peak vom Nullkanal zu trennen. Dies ist auch der Grund dafür, daß bei den Voruntersuchungen kein zusätzlicher Peak aufgetreten war. Bei den Voruntersuchungen wurde ein Prototyp des verwendeten Photomultipliers Hamamatsu R4760 verwendet. Dieser Prototyp hatte eine um ca. eine Größenordnung geringere Verstärkung als die später für die innere Lage verwendeten Photomultiplier. Bei dieser geringeren Verstärkung ist eine Trennung des zusätzlichen Peaks vom Nullkanal nicht möglich. Er konnte aus diesem Grunde nicht beobachtet werden.

2. Es sollte geklärt werden, ob es sich bei dem zusätzlichen Peak um das Übersprechen zwischen PM-Kanälen oder Fasern handelt. Dadurch, daß die Fasern im Bereich der Biegestellen nicht mit EMA beschichtet sind (s.Kap. 2.1.1) können möglicherweise an bestimmten Punkten der Fasern die Vorraussetzungen für ein optisches Übersprechen gegeben sein. Ein Übersprechen zwischen den Kanälen eines Photomultipliers ist durch Signalüberschläge benachbarter Dynodensysteme denkbar. In einzelnen wurde folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Einige Faser wurden an der Biegestelle optisch von den benachbarten Fasern isoliert, so daß ein Übersprechen zwischen den Fasern ausgeschlossen werden konnte.
- Es wurden benachbarte Fasern auf nicht benachbarte PM-Kanäle gelegt.
  Die aufgenommenen Pulshöhenspektren zeigten ebenfalls einen zusätzlichen Peak wie in Abb. 5.2 .
- Es wurde nur noch eine einzige Faser auf einen Photomultiplier geführt und alle übrigen Kathodenfenster des Photomultipliers wurden lichtdicht abgedeckt.
- Um auszuschließen, daß es sich um einfallendes Streulicht handelt, wurdenTests mit zusätzlich lichtdicht abgedeckten Fasern und Photomultipliern durchgeführt.
- Alle Tests wurden mit unterschiedlichen Kanälen von mindestens zwei unterschiedlichen Photomultipliern durchgeführt.

Bei allen so aufgenommenen Pulshöhenspektren zeigte sich ebenfalls ein zusätzlicher Peak. Es konnte somit nachgewiesen werden, daß es sich weder um eine eingekoppelte Störung noch um das Übersprechen zwischen Fasern oder Photomultiplierkanälen handelt. Streulicht konnte ebenfalls als Ursache ausgeschlossen werden.

3. Die Aufnahme von Spektren im sogenannten "list-mode" sollte Auskunft über die Herkunft zusätzlicher niederenergetischer Einträge im Pulshöhenspektrum der Fasern geben, da so die Einträge in den Faser-Spektren zeitlich mit den Einträgen im Triggerspektrum verglichen werden können. Durch Setzen unterschiedlicher Schwellen und Energiefenster kann also überprüft werden, welche Einträge im Triggerspektrum mit den Eintägen im "zusätzlichen Peak" korreliert sind. In der Abbildung 5.3 ist ein Vergleich von drei Faserspektren mit unterschiedlichen Korrelationen zu Einträgen im Triggerspektrum gezeigt.

Abb. 5.3 Vergleich verschiedener Pulshöhenspektren zur Ermittlung der Herkunft des zusätzlichen Peaks. Dabei bedeuten: (O) ursprüngliches Pulshöhenspektrum der Faser, (H) Alle Einträge im Faserspektrum, die mit Einträgen im Triggerspektrum korrelieren, die größer als 250 Kanäle sind (energiereiche Einträge). (N) Alle Einträge in Faserspektrum korreliert mit Einträgen im Triggerspektrum kleiner als 160 Kanäle (energiearme Einträge).

Im ursprünglichen Pulshöhenspektrum (O) sind im zusätzlichen Peak ca.10% aller Einträge des Spektrums enthalten. Im Pulshöhenspektrum (H) sind es deutlich mehr. Dagegen ist der zusätzliche Peak in dem Pulshöhenspektrum (N) fast verschwunden.
Somit ist deutlich, daß das Auftreten des zusätzlichen Peaks mit den energiereichen Einträgen im Triggerspektrum korreliert ist. Diese werden aber wiederum vorwiegend durch niederenergetische Elektronen der ^{90}Sr-Quelle verursacht. Der zusätzliche Peak ist somit auf Besonderheiten des Triggers zurückzuführen und kann durch Setzen geeigneter Schwellen aus dem Pulshöhenspektrum entfernt werden. Das Setzen geeigneter Schwellen kann auch mit einer veränderten Triggerschaltung zur Aufnahme der Pulshöhenspektren erreicht werden (s.Abb. 5.4).

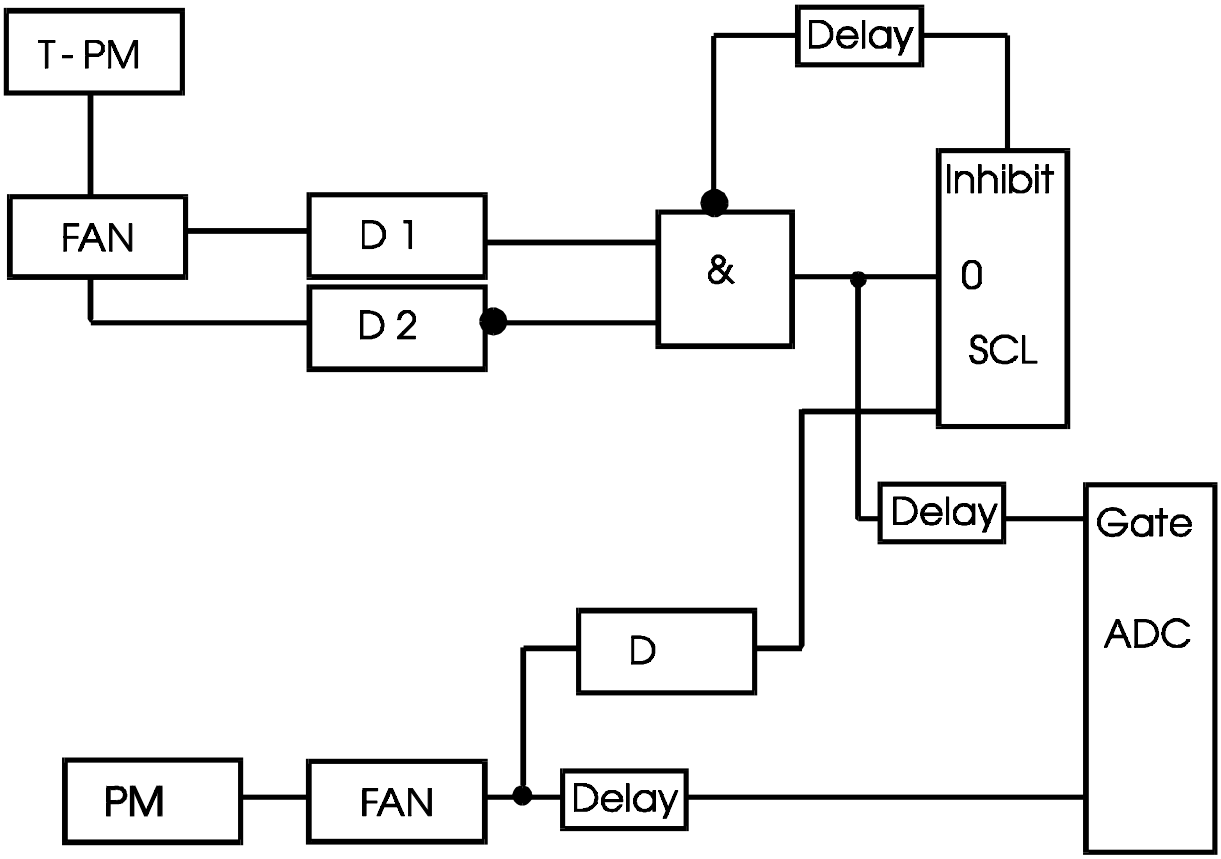

Abb. 5.4 Veränderte Triggerschaltung zur Aufnahme der Pulshöhenspektren. Durch das Setzen einer niedriger Schwelle an Diskriminator D1, und einer hohen Schwelle an Diskriminator D2 werden hochenergetische Einträge im Triggerspektrum unterdrückt.

In Abb. 5.4 ist die veränderte Triggerschaltung gezeigt, mit der die hochenergetischen Einträge aus dem Triggerspektrum bei der Aufnahme der Faserspektren unberücksichtigt bleiben. Dazu stellt man den Diskriminator D1 auf eine niedrige Schwelle T1, den Diskriminator D2 auf eine entsprechend hohe Schwelle T2 ein. Das Ausgangssignal von D1 wird zusammen mit dem logisch invertierten Ausgangssignal von D2 auf eine Koinzideneinheit gegeben. Der Ausgang der Koinzidenzeinheit liefert nur dann ein Signal an den Gate-Eingang des ADC, wenn
T1 < Triggersignal < T2. Auf diese Weise werden vom ADC keine Impulse der Fasern aufgenommen, die mit Einträgen im Triggerspektrum > T2 korrelieren. Dadurch, daß nur bestimmte Einträge im Triggerspektrum für das Gate des ADC verwendet werden, verringert sich die Anzahl der Einträge im Faser-Spektrum. Um Pulshöhenspektren mit guter Statistik aufnehmen zu können, müssen nun die Fasern mehrmals von der ^{90}Sr-Quelle in dem oben beschriebenen Testaufbau überfahren werden. Für dieses Testverfahren zur Aufnahme der Pulshöhenspektren ist der Testaufbau wie oben beschrieben geeignet.
Nach diesen ersten Messungen und Erfahrungen konnte mit dem Aufbau und dem Test der inneren Lage fortgefahren werden.

6. Montage und Test der inneren Lage

Der Test der inneren Lage wird entsprechend dem geplanten Testablauf wie in Kapitel 3.5 beschrieben durchgeführt. Zur Vorbereitung für die erste Testphase wurden zunächst alle 160 Fasern der 1. Lage auf das Trägerrohr ensprechend ihrer Position aufgeklebt und zur Ankopplung an die entsprechenden Photomultiplier vorbereitet. Anschließend wurden alle benötigten Photomultiplier, die zuvor mit Spannungsteilern und den für das EDDA-Experiment konfektionierten Signal- und Hochspannungsleitungen versehen worden waren, an die Fasern der 1. Lage angekoppelt. Dazu wurden alle Photomultiplier mit neuen Koppelkissen versehen.

6.1 Aufnahme aller Pulshöhenspektren und grundsätzliche Kontrolle.

Zur Ermittlung der Anzahl der ausgelösten Photoelektronen müssen zunächst alle Pulshöhenspektren aufgenommen werden. Für die Aufnahme der Pulshöhenspektren wird der in Kapitel 3 beschriebene Testaufbau verwendet und die in Abb. 5.4 gezeigte Schaltung aufgebaut. Bei der Aufnahme der Pulshöhenspektren konnte gleichzeitig die Zuordnung der Signalleitungen zu den entsprechenden logischen Fasernummern kontrolliert und dokumentiert werden. (Alle damit zusmmenhängenden Unklarheiten konnten besteitigt werden, da es, wie in Kap. beschrieben, möglich ist, mit dem Testaufbau die genaue Position der Faser zu ermitteln.)
Bei allen Pulshöhenspektren, bei denen keine deutliche Trennung des "Nutzsignals" vom Nullkanal zu erkennen war, fand eine sofortige Überprüfung statt. Insgesamt wurden nach dieser ersten Testphase 28 Pulshöhenspektren als unzureichend bewertet.
Dabei konnten alle Ursachen festgestellt und behoben werden.
Es traten folgende Fehler auf:

1. HV-Überschläge der Photomultiplier (Glimmentladungen)
2. Ankopplungsfehler
3. Defekte Fasern
4. Defekte Photomultiplier

Die HV-Überschläge der Photomultiplier lassen sich größtenteils durch Warmlaufzeiten von ca. 30 Minuten beheben. Bei PM 31 führte eine von 1250V auf 1200V verringerte HV zu guten Ergebnissen. Bei den defekten Fasern handelte es sich um mechanische Defekte an den polierten Enden der Fasern. Durch das Abschneiden und anschließendes Polieren der Fasern kann es zu Rissen längs der Faserseele kommen, die auf Anhieb mit bloßem Auge nicht erkennbar sind. Ein Nachbessern der Fasern war möglich und führte zu verbesserten Ergebnissen. Alle anschließend verlegten Fasern werden auf solche Beschädigungen hin untersucht. Alle Ankopplungsfehler konnten behoben werden.

6.2 Aufnahme der SEP mit dem LED-Pulser zur Eichung der Pulshöhenspektren

Mit Hilfe der aufgenommenen SEP-Spektren werden wie in Kapitel 2.1.3 beschrieben die Pulshöhenspektren geeicht. Aus den so geeichten Spektren läßt sich die jeweilige Anzahl der Photoelektronen bestimmen. Abb. 6.1 zeigt exemplarisch ein aufgenommenes Pulshöhenspektrum und den dazugehörigen SEP des Photomultipliers 16 mit der dazugehörigen Faser 8 (logische Nummer). Der Schwerpunkt des Spektrums liegt bei Kanalnummer 79 ± 2 (Abstand