3. Verwendung szintillierender Fasern im EDDA-Detektor

Zur Anwendung in der inneren Lage des EDDA-Detektors standen szintillierende Fasern verschiedener Typen und Hersteller zur Auswahl. Entscheidend für die Verwendbarkeit in der inneren Lage des EDDA-Detektors ist, daß die Fasern nach dem Einwirken unvermeidbarer äußerer Einflüsse während der Verarbeitung eine ausreichende Lichtausbeute gewährleisten.

3.1. Eignung verschiedener Fasern zur Verwendung in der inneren Lage des EDDA-Detektors

Szintillierende Fasern sind in verschiedenen Querschnittsformen und Größen erhältlich.

Die Fasern der inneren Lage des EDDA-Detektors werden in Form einer Doppelhelix angeordnet. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, daß Fasern mit quadratischem Querschnitt aufgrund der in ihnen auftretenden Torsionskräften für eine Anwendung in der inneren Lage des EDDA-Detektors weniger geeignet sind als runde Fasern [WIE91].

Zum zuverlässigen Nachweis eines Lichtpulses muß dessen Intensität ausreichen, um im Mittel mindestens 7 bis 10 Elektronen aus der Kathode des verwendeten Photomultipliers auszuschlagen (vgl. Kap. 5 und 6). Aufgrund dieser Forderung hat sich die Lichtausbeute von Fasern mit weniger als 2,5 mm Durchmesser als unzureichend erwiesen.

Zur Auswahl standen schließlich noch Fasern der Firmen Bicron (Typ BCF-12) und Kuraray (Typ SCSF-81 mit neuem Cladding), jeweils mit 2,5 mm Durchmesser.

Um ein optisches Übersprechen zwischen benachbarten Fasern zu vermeiden, müssen diese mit EMA beschichtet werden. Zur Untersuchung des Einflusses des EMA wurden je eine werksseitig beschichtete Bicron BCF-12 und Kuraray SCSF-81 mit unbeschichteten Fasern der gleichen Typen verglichen.

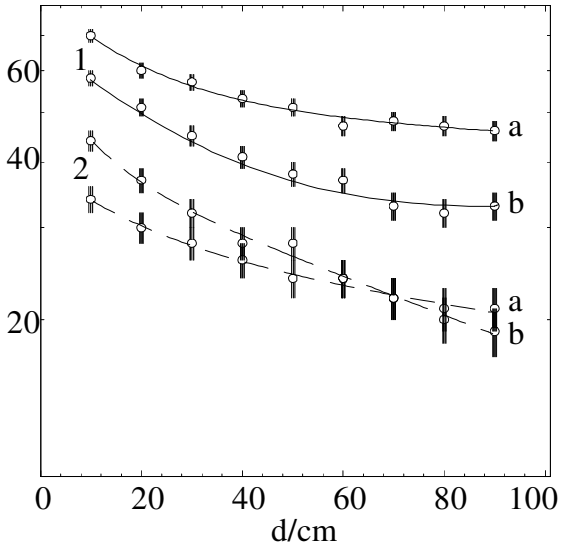

Abb. 3.1.1 Photoelektronenzahl für (1) Kuraray SCSF-81 und (2) Bicron BCF-12, jeweils (a) mit und (b) ohne EMA; d ist der Abstand zum Photomultiplier

Es ist zu erkennen, daß unter diesen Bedingungen die Lichtausbeute der Bicron BCF-12 erheblich niedriger als bei der Kuraray SCSF-81 ist, aber trotzdem ausreichend ist.

Für den Einsatz im EDDA-Detektor müssen alle Fasern im Bereich der Targetstutzen thermoplastisch gebogen werden [DOR93]. Etwa ein Drittel der Fasern muß sogar mehrfach gebogen werden. Unter diesen Bedingungen erwies sich die Bicron BCF-12 im Vergleich zur Kuraray SCSF-81 als nicht gleichwertig. Zum Vergleich wurden je eine Faser der Typen BCF-12 und SCSF-81 bei d = 50 cm und d = 55 cm um 60° mit Biegeradien von ca. 5 mm gebogen.

Ein Vergleich der ADC-Spektren (Entfernung zwischen Durchtrittspunkt der minimalionisierender Elektronen und Photomultiplier: 90 cm) zeigt deutlich, daß die Bicron BCF-12 unter diesen Bedingungen keine ausreichende Lichtmenge liefert und daher für die Verwendung im EDDA-Detektor ungeeignet ist.

Die mittlere Impulshöhe (gemessen mit einem Hamamatsu R 1635-02 Photomultiplier) beträgt bei der BCF-12 3 Photoelektronen. Damit läge die Nachweiseffizienz (vgl. Kap. 5) bei unter 50 %.
Unter gleichen Bedingungen beträgt die mittlere Impulshöhe bei der Kuraray SCSF-81 23 Photoelektronen, was eine Nachweiseffizienz von > 99,5 % ermöglicht.

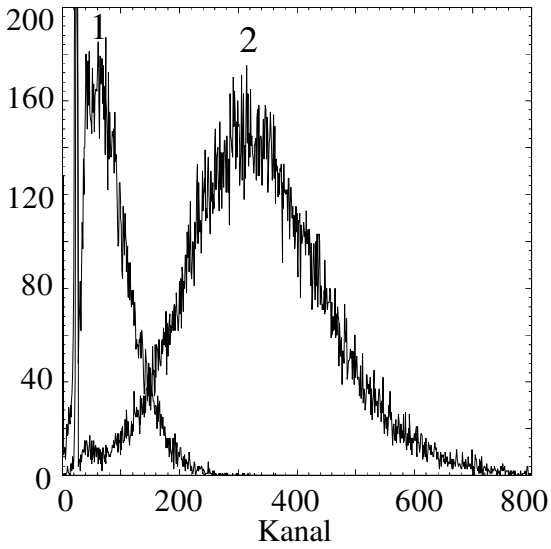

Abb. 3.1.2 ADC-Spektren der Bicron BCF-12 (1) und der Kuraray SCSF-81 (2) bei d=90 cm, jeweils mit zwei 60°- Biegungen und EMA-Beschichtung

Nach Entfernen des EMA im Bereich der Biegungen wurden die Messungen wiederholt. Es zeigte sich, daß sich durch Entfernen des EMA im Bereich der Biegungen die Lichtausbeute um ca. 50% erhöhen lässt. Dies ist ein Indiz dafür, daß der Lichttransport durch Reflexion an der Cladding-Luft-Grenzschicht [HAW90] im Bereich der Biegungen eine große Rolle spielt.
Da die vom Faserhersteller aufgebrachte EMA-Beschichtung schwer entfernbar ist und werksseitig beschichtete Kuraray SCSF-81 nicht in ausreichender Menge lieferbar waren, wurde untersucht, inwieweit die Fasern selbst beschichtet werden können.
Es zeigte sich, daß alle untersuchten Materialien (Reflective Coating BC-620 der Firma Bicron, verdünnte handelsübliche weiße Latexfarbe mit Netzmittelzusatz, EMA-Spray der Firma Kuraray sowie handelsübliches weißes Acryllack-Spray) in ihren optischen Eigenschaften der herstellerseitigen Beschichtung ebenbürtig waren. Zwar hafteten BC-620 und Latexfarbe etwas schlechter auf der Faseroberfläche, lassen sich jedoch im Tauchverfahren auftragen, was eine gleichmäßigere Schichtdicke und eine weniger poröse Oberfläche als bei Sprays ermöglicht. Diese Beobachtungen ergaben sich aus vergleichenden Mikroskopaufnahmen der Oberflächen.

3.2. Alterungsbeständigkeit der Fasern

Während der Bearbeitung und der Montage sind die Fasern diversen äußeren Einflüssen ausgesetzt. Im folgenden wurde untersucht, wie groß die durch äußere Einflüsse verursachte Alterung der Fasern ist und wie sie minimiert werden kann.

3.2.1. Alterung durch Lichteinfluß

Szintillierende Fasern altern unter Lichteinfluß auf zweierlei Weise:
Zum einen trübt der Polystyrol-Core durch den Einfluß von UV-Licht ein, zum anderen können die Wellenlängenschieber unter Lichteinfluß altern.

Da es unumgänglich ist, die Fasern bei der Verarbeitung Licht auszusetzen, war es notwendig, die günstigsten Lichtbedingungen für die Verarbeitung der Fasern zu finden. Dabei wurde angenommen, daß die Bearbeitung einer Faser (d.h. Enden schleifen, Faser biegen, mit EMA beschichten, verlegen, verkleben) z.Zt. zwischen einer halben und einer Stunde pro Faser dauert. Dies würde bedeuten, daß die erste der 640 Fasern der inneren Lage des EDDA-Detektors bis zur Fertigstellung des Detektors etwa 500 h lang dem Licht ausgesetzt ist.
Um die Alterung durch Lichteinfluß zu untersuchen, wurden Fasern des Typs Kuraray SCSF-81 einer Belichtung von 0,5 Mlx · h (entspricht ca. 500 h bei normaler Arbeitsplatz-Lichtintensität) bei Verwendung verschiedener Lichtquellen ausgesetzt.

Es hat sich gezeigt, daß Raumlicht mit Tageslichtanteilen für die Verarbeitung von szintillierenden Fasern ebenso ungeeignet íst wie Leuchtstofflampenlicht. Filterfolien zur Reduzierung des Anteils von Licht mit $\lambda < 500$ nm verlangsamen die Alterung der Fasern lediglich geringfügig. Am besten für die Verarbeitung szintillierender Fasern geeignet ist Glühlampenlicht.

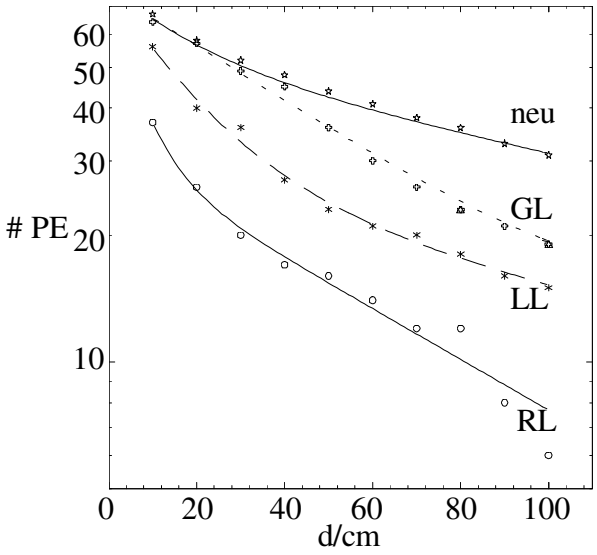

Abb. 3.2.1 Photoelektronenzahl in Abhängigkeit von der Lichtexposition
GL: Glühlampenlicht; LL: Leuchtstofflampenlicht;
RL: Raumlicht mit Tageslichtanteilen

Die Abschwächungslänge der Fasern nimmt durch Lichteinfluß deutlich ab. Dies ist zum einen an einem Rückgang der Abschwächungslänge (Zunahme der Selbstabsorption), zum anderen an einer deutlich sichtbaren Entfärbung der Fasern zu erkennen.

Abb. 3.2.2 Mikroskopaufnahme zweier Fasern Kuraray SCSF-81;
rechts vor, links nach Lichtexposition

3.2.2. Alterung durch Feuchtigkeit

Das Cladding der Kuraray SCSF-81 besteht aus einer dem PMMA ähnlichen Verbindung (vgl. 2.1.). PMMA kann Wasserdampf unter Eintrübung aufnehmen. Dieser Prozeß ist allerdings weitgehend reversibel. Das entsprechende Verhalten des Kuraray - Claddings aus 'fluoriertem PMMA' war nicht bekannt. Daher wurde untersucht, inwieweit die Einwirkung von Wasserdampf beim thermoplastischen Biegen nach [DOR93] der Lichtausbeute der Faser schadet. Dazu wurde eine Faser solange Wasserdampf ausgesetzt, wie es normalerweise zum Biegen einer Faser notwendig ist (ca. 15 ... 20 sec). Nach 24-stündiger Lagerung war keine signifikante Änderung der Lichtausbeute der Faser erkennbar.

3.2.3. Alterung durch Klebstoffe

Die Fasern des EDDA-Detektors müssen durch Klebung in ihrer Position gehalten werden. Dabei wird wie folgt vorgegangen: Zunächst werden die einzelnen Fasern mit Cyanacrylat-Klebstoff punktweise fixiert Anschließend werden die fertigen Faserlagen mit geeignetem Klebstoff vergossen, um eine optimale Verbindung der

Fasern untereinander und damit eine maximale Stabilität der gesamten Faserlage zu erreichen. Durch die damit verbundene große Klebstoff-Schichtdicke erhöht sich allerdings die Aushärtedauer des Klebstoffs, so daß die Fasern über einen längeren Zeitraum eventuell im Klebstoff vorhandenen schädlichen Lösungsmitteln ausgesetzt sind, was insbesondere zur Trübung des Polystyrol-Cores der Fasern führen kann.

Eine Beeinflussung der Fasern durch Cyanacrylat-Kleber war auch nach unrealistisch großflächigem Auftrag nicht erkennbar.

Um die Auswirkung des Verguß-Klebstoffs auf den Fasercore zu testen, wurden vier Testmodule aus je 13 Lichtleiter-Fasern, die bis auf die fehlende Wellenlängenschieber-Dotierung des Core mit szintillierenden Fasern identisch sind, hergestellt. Die Fasern hatten 2,5 mm Durchmesser, waren mit EMA beschichtet und hatten eine Länge von 40 cm.

Erprobt wurden folgende Klebstoffe:

- die Kunstharz-Klebstoffe Pattex Stabilit ultra und UHU plus endfest 300
- der Acrylat-Zweikomponentenklebstoff Pattex Stabilit Expreß und
- der Polyurethan-Klebstoff Ciba-Geigy XW-338.

Nach 4-monatiger Lagerung wurde die Transmission der Testmodule im Vergleich zu einer ungeklebten Lichtleiter-Faser gemessen. Dazu wurde unter Verwendung der in Abb. 2.2.3. dargestellten Schaltung Licht aus einer blauen LED in eine Faser

des Testmoduls eingekoppelt und am gegenüberliegenden Ende mit einem Photomultiplier Hamamatsu R 1635-02 nachgewiesen.

Dabei wurden folgende Photoelektronenzahlen gemessen:

Klebstoff	# Photoelektronen
ungeklebt	74 ± 4
Ciba-Geigy XW-338	71 ± 4
Pattex Stabilit Expreß	31 ± 2
Pattex Stabilit Ultra	75 ± 4
UHU plus endfest 300	59 ± 3

Tabelle 3.2.1 Transmission der Testmodule

Innerhalb der Meßgenauigkeit war unter dem Einfluß von Pattex Stabilit Ultra und CIBA-Geigy XW-338 keine Alterung der Fasern festzustellen. Aufgrund seiner hohen Elastizität ist der Ciba-Geigy XW-338 vorzuziehen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Fasern nur bei Glühlampenlicht verarbeitet werden und Einwirkungsdauer sowie Intensität des Lichts auf das unvermeidbare Mindestmaß beschränkt werden sollten. Eine Alterung durch Feuchtigkeit war nicht festzustellen. Als geeignetster Klebstoff hat sich der Polyurethanklebstoff Ciba-Geigy XW-338 erwiesen.