3. Szintillierende Fasern

In diesem Kapitel wird davon ausgegangen, daß ein Verfahren zur thermoplastischen Deformation, wie in Kapitel 5 beschrieben, bereits existiert. Es werden an Hand von Untersuchungen an szintillierenden Fasern Details zum Bau der Helix-Lage des EDDA-Detektors bestimmt. Insbesondere werden die Lichtverluste durch Biegungen von Fasern betrachtet.

3.1. Szintillierende Fasern und Versuchsaufbau

3.1.1. Lichttransport in szintillierenden Fasern

Die von der Firma Kuraray [KUR] bezogenen szintillierenden Fasern bestehen aus zwei Schichten (Fig.3.1), dem "Core" (∅ 2.5 mm) und das den Core umgebende "Cladding" (50 ± 10 µm dick). Wellenlängenschieber sorgen im Core dafür, daß die Autoabsorption des in der Faser erzeugten Lichts reduziert wird. Um die Gefahr des Eindringens von Licht in die durchsichtigen Fasern zu reduzieren, werden sie mit einer Schicht "Reflective Coating BC 620" umgeben. Dies ist eine spezielle weiße Farbe der Firma Bicron [BIC], das sogenannte EMA (**E**xtra **M**ural **A**bsorber). Die Verwendbarkeit der Fasern für den Bau des Detektors wurde bereits getestet [WIE91],[DOR93],[ZIE93].

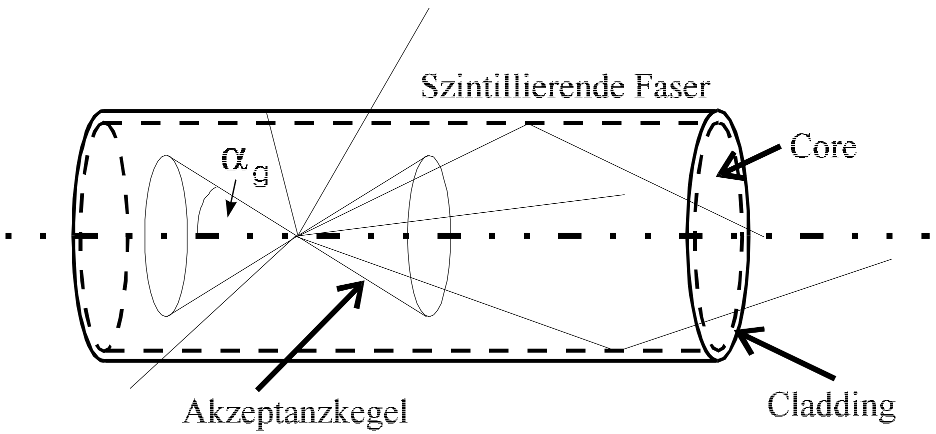


Fig.3.1 Schematische Darstellung des Lichttransports in einer szintillierenden Faser über Totalreflexion.

Der Core besteht im wesentlichen aus Polystyrol. Er ist der eigentliche Szintillator, mit einem Brechungsindex von 1.59. Das Cladding besteht aus "fluoriertem Polymethylmetacrylat" (PMMA) mit einem Brechungsindex von 1.42 [OKA92]. Der Brechungsindex nimmt somit über die Medien Core→Cladding→Luft von 1.59 auf 1 ab. In der Faser entstandenes Licht kann daher über Totalreflexion zwischen den Schichten Core→Cladding und Cladding→Luft in der Faser eingefangen und transportiert werden. Denkt man sich das von einem Teilchen an einem Punkt der Faser erzeugte Licht isotrop ausbreitend, so kann nur das Licht in der Faser verbleiben, das der Bedingung für Totalreflexion an den Grenzschichten zwischen den Medien genügt. Über das Snellius-Gesetz läßt sich der Grenzwinkel des Lichtes zur

Achse der Faser angeben (Fig.3.1), bis zu dem noch Totalreflexion stattfindet. Licht mit größerem Winkel verläßt die Faser. Für die beiden Schichten Core→Cladding ergibt sich der Grenzwinkel zu :

$$\alpha_g = 90° - \arcsin(\frac{n_{cladding}}{n_{core}}) \approx 26.7° \qquad (3.1)$$

Das von der Faser über Totalreflexion weitergeleitete Licht liegt innerhalb zweier Kegel (den "Akzeptanzkegeln"). Deren Öffnungswinkel ist gleich dem doppelten Grenzwinkel (Fig.3.1). Die Fasern werden an einem Ende über einen Photomultiplier ausgelesen, so daß nur die Hälfte des über Totalreflexion eingefangenen Lichts registriert werden kann. Die andere Hälfte verläßt die Faser am nicht ausgelesenen Ende oder wird dort absorbiert. Bezieht man die Fläche, die der zur Auslese relevante Kegel aus der Einheitskugel um den Entstehungsort des Lichtes schneidet, auf die Gesamtfläche der Einheitskugel, so erhält man die sogenannte Einfangeffizienz F_{capt} [WIE91] :

$$F_{capt} = \frac{1}{2}(1 - \frac{n_{cladding}}{n_{core}}) \approx 0.053 \qquad (3.2)$$

Sie gibt den Bruchteil des Lichtes an, das der Totalreflexion an den Schichten Core→ Cladding genügt.
Szintillationslicht, das im Core der Faser erzeugt wurde, wird durch Absorption und Inhomogenitäten des Brechungsindex im Verlauf der Faser exponentiell abgeschwächt. Die Abschwächungslänge l_{core} sei die Länge, nach der die Lichtintensität auf 1/e abgefallen ist. Die Lichtleitung geschieht sowohl im Core als auch im Cladding. Das Cladding jedoch weist eine kleinere Abschwächungslänge $l_{cladding}$ als der Core auf. Sei x die Entfernung vom Entstehungsort des Lichtes in der Faser, so gilt für die Zahl der Photoelektronen N_{Ph}, die das nach x noch verbleibende Licht aus der Photokathode eines Photomultipliers schlägt [DOR93] :

$$N_{Photo-e^-} = N_{clad} \cdot e^{-x/\lambda_{clad}} + N_{core} \cdot e^{-x/\lambda_{core}} \qquad (3.3)$$

Hierbei ist N_{clad} bzw. N_{core} die Zahl der durch das Licht des Claddings bzw. des Core erzeugten Photoektronen. Auch an der Genzschicht Cladding→Luft wird Licht durch Totalreflexion eingefangen. Wird jedoch EMA aufgetragen, so geht die Totalreflexion an den Schichten Cladding→Luft verloren. Dagegen kann Licht nun vom EMA reflektiert oder absorbiert werden.

Damit stellt sich die Frage, welchen Einfluß das EMA auf die Lichtausbeute einer Faser hat.

3.1.2. Der Verlauf der szintillierenden Fasern im EDDA-Detektor

In Fig.3.2 ist der Verlauf der Fasern vom Beginn der Helix zu den Multipliern schematisch dargestellt und in drei Zonen eingeteilt.
Zone 1 bildet die Doppelhelix. Hier wird aufgrund der Helixparameter über eine Länge von etwa 58 cm ein Bogen von 45 cm Radius beschrieben (Anhang D).

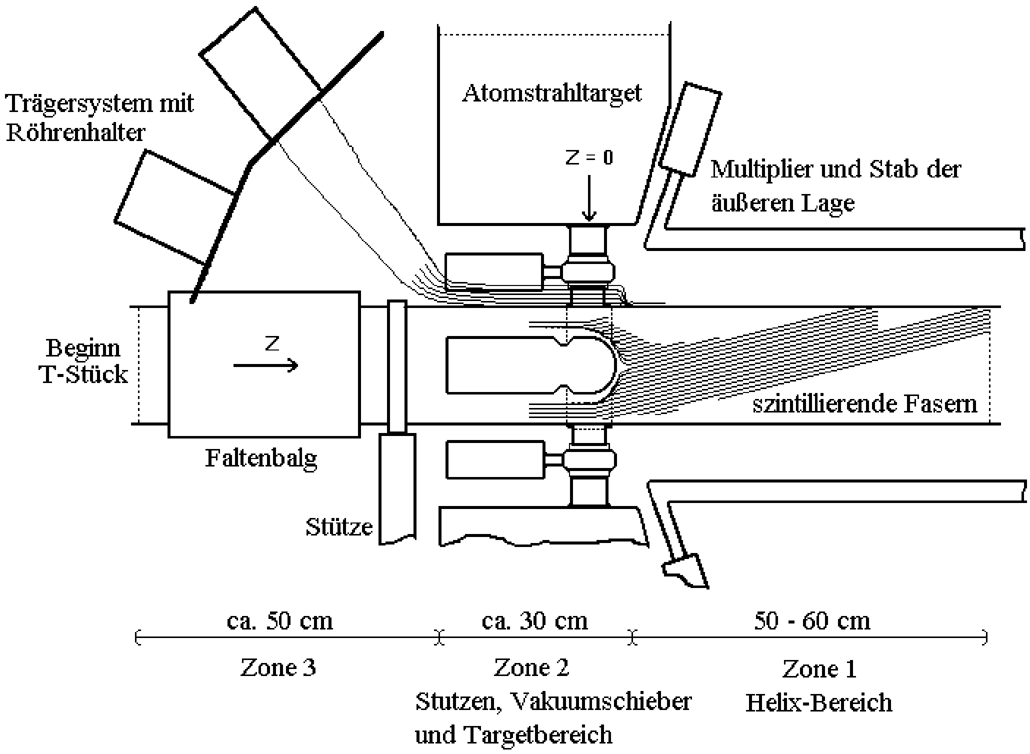


Fig.3.2 Unterteilung des EDDA-Strahrohres in Zonen und schematische Darstellung des Faserverlaufes in den 3 Zonen

In Zone 2, dem Bereich des Targetsystems, umlaufen die Fasern jeweils um 90° versetzt angeordnete Targetstutzen stromlinienförmig, mit Radien zwischen 6 mm und 50 mm In Zone 3 werden die Fasern durch Bögen mit Radien zwischen 30 cm und 120 cm auf die verwendeten Photomultiplier geführt (Anhang C). Die Länge einer Faser zwischen Zone 1 und 2 liegt zwischen 65 cm und 80 cm.
Nach Angaben von Kuraray beträgt der kleinste Radius für die Biegung der Fasern ohne Lichtverluste etwa 120 cm. Danach wäre zur Vermeidung von Lichtverlusten in allen Bereichen eine thermoplastische Biegung unumgänglich. Thermoplastische Biegung bezeichnet dabei die Veränderung eines Faserverlaufes durch Erwärmen der Faser, im Gegensatz zur elastischen Biegung bei Zimmertemperatur. Zu einer genaueren Untersuchung stellen sich folgende Fragen :

- Welche Lichtverluste treten in gebogenen Fasern auf ?
- In welcher Zone muß elastisch bzw. thermoplastisch gebogen werden ?
- Bis zu welchem Winkel wird die Detektion mit der inneren Helix-Lage durch den Verlauf der Fasern in Zone 2 eingeschränkt ?
- Wieviele Fasern sind von komplizierten Kurvenverläufen in Zone 2 betroffen ?

3.1.3 Versuchsaufbau

Alle Messungen an szintillierenden Fasern wurden mit Hilfe minimalionisierender Elektronen einer ^{90} Sr-Quelle durchgeführt. ^{90} Sr zerfällt unter Aussendung von Elektronen einer Maximalenergie von 546 keV in ^{90} Y, dieses unter Aussendung von Elektronen einer Maximalenergie von 2284 keV in ^{90}Zr [RPP92]. Die Quelle samt

Trigger ist in Fig.3.3 dargestellt. Sie ist entlang der Faser, in Fig.3.3 senkrecht zur Papierebene, verschiebbar. Das in der Faser erzeugte Licht wird über einen einkanaligen Photomultiplier vom Typ Hamamatsu R1635-02 ausgelesen. Zur optimalen Ankopplung der zu messenden Faser an diesen Multiplier wurde optisches Fett der Firma Bicron verwendet und die Frontfläche der Faser am Ausleseende poliert. Alle in dieser Arbeit angegebenen Positionen der Quelle bezeichnen ihre Entfernung vom Signalmultiplier (Fig.3.3), entlang der auszulesenden Faser. Der Triggermultiplier ist ebenfalls ein R1635-02 von Hamamatsu. Zur Aufnahme der Pulshöhenspektren (⇔ ADC-Spektren) des Szintillatorlichtes wurde die in Fig.3.4 dargestellte Schaltung verwendet. Eine Eichung für die Zahl der aus der Photokathode des Photomultipliers ausgeschlagenen Photoelektronen N_{PE} und die Lage des Schwerpunktes eines Pulshöhenspektrums N_{ADC} ergab :

$$N_{PE} = {}^{15}\!/_{16} \cdot N_{ADC} \qquad (3.4)$$

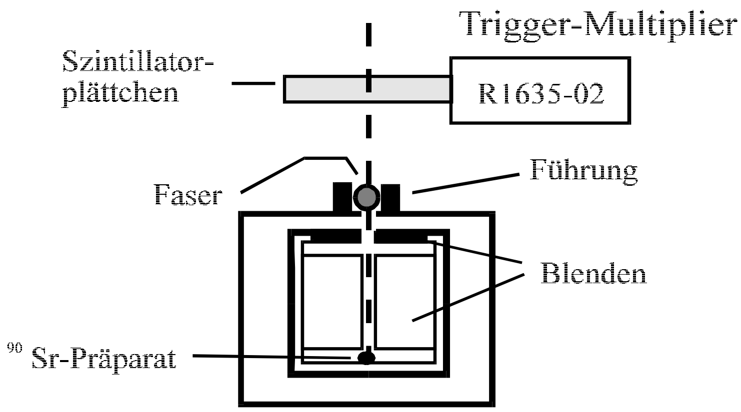


Fig.3.3 Aufbau der 90Sr-Quelle

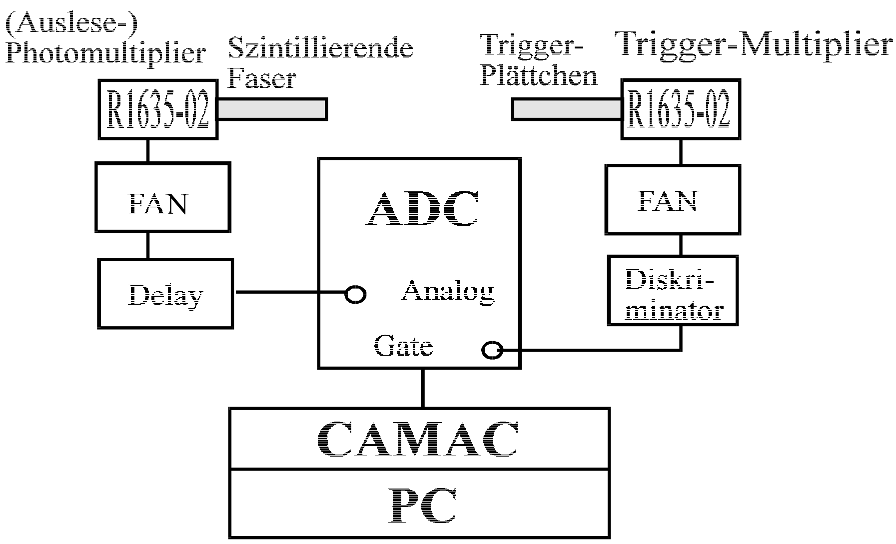


Fig.3.4. Blockschaltbild des Versuchsaufbaus zur Aufnahme von Pulshöhenspektren szintillierender Fasern

Das ADC-Spektrum einer Faser ist exemplarisch in Fig.3.5 dargestellt. Die Lage des Schwerpunktes im Spektrum ergibt sich relativ zum scharfen Nullkanal auf der linken Seite. Immer dann, wenn innerhalb des durch den Trigger geöffneten Zeitfensters von 50 ns der Signalmultiplier kein Szintillatorlicht empfängt, erhält der Nullkanal einen Eintrag. In diesem Fall mißt der ADC allein den Offset der vorgeschalteten Elektronik.

Fig.3.5 Darstellung eines Pulshöhenspektrums einer szintillierenden Faser

3.2. EMA und Lichtausbeute szintillierender Fasern

Um den Einfluß des EMA auf die Lichtverluste szintillierender Fasern zu untersuchen, wurden die ADC-Spektren 10 ungebogener Fasern an verschiedenen Positionen der Quelle, vor und nach dem Beschichten mit EMA aufgenommen. Bezeichne N die Schwerpunktlage des Pulshöhenspektrums einer Faser, so ergab sich :

$$\boxed{\overline{\left(\frac{N_{EMA}}{N_{EMA-frei}}\right)} \approx 1.07 \pm 0.02 \quad \Rightarrow \quad \text{EMA senkt die Lichtverluste ungebogener Fasern.}}$$

In Fig.3.6 sind exemplarisch die beiden Pulshöhenspektren einer Faser vor und nach der Beschichtung mit EMA abgebildet.

Fig.3.6 Darstellung der Pulshöhenspektren einer Faser mit und ohne EMA

3.3. Lichtverluste im Helixbereiches der inneren Lage

Im Bereich der Helix beschreiben die Fasern Schraubenlinien mit einem Krümmungsradius von 45 cm und einer Länge von etwa 58 cm (Anhang D). In diesem Teil wurde untersucht, ob Lichtverluste durch den Helixverlauf auftreten und ob diese durch Erwärmen der Fasern vermieden werden können. Dazu wurden zwei mit EMA beschichtete Fasern auf ein Trägerrohr mit den Parametern der Helix aufgelegt (Fig.3.7). Die in Kapitel 3.1.2 festgelegten Längen der Faserabschnitte in den Zonen 1 bis 3 wurden eingehalten. Eine der beiden Fasern wurde nach dem Auflegen auf das Trägerrohr einige Minuten mit 100° C heißer Luft aus einer Düse (Querschnitt = 3 mm) punktweise erwärmt, die andere Faser blieb unbehandelt. Alle Messungen wurden bei einer festen Positon der Sr-Quelle (130 cm) durchgeführt.

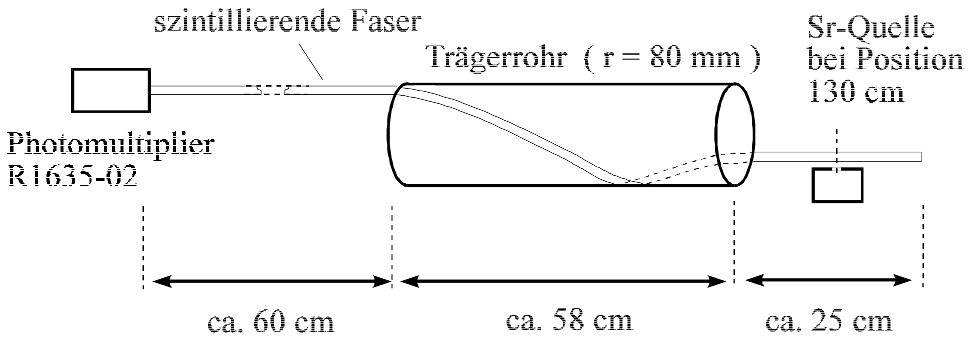


Fig.3.7 Anordnung zur Untersuchung der Fasern auf Lichtverluste durch den Verlauf im Helixbereich

Im Zeitraum von 50 Tagen wurden die Pulshöhenspektren der verwendeten Fasern aufgenommen. Die Lage des Schwerpunktes dieser Spektren mit der Zeit ist in Fig.3.8 aufgetragen.

Fig.3.8 Schwerpunkte der Pulshöhenspektren der untersuchten Fasern im Bereich der Helix, in Abhängigkeit von der Zeit

⇒ Im Rahmen der Meßfehler und der Streuung von 2 - 3 ADC-Kanälen kann kein Nachlassen der Lichtausbeute beider auf dem Trägerrohr aufgebrachten Fasern im Zeitraum von 50 Tagen festgestellt werden. Zur Ermittlung des Lichtverlustes kann daher der Mittelwert $\overline{N_{SP}}$ der Schwerpunktslagen N_{SP} der Pulshöhenspektren im Beobachtungszeitraum gebildet werden (Tab.3.1).

Um herauszufinden, wie groß der durch den helixförmigen Verlauf der Fasern bedingte Lichtverlust ist, und ob ein Unterschied der "warm" zur "kalt" gebogenen Faser vorliegt, müssen die ADC-Spektren beider Fasern vor dem Versuch mit $\overline{N_{SP}}$ verglichen werden. Die Lagen der Spektrumsschwerpunkte vor dem Versuch wurden durch Messung der Abschwächungscharakteristik (Fig.3.9) der beiden geraden, mit EMA beschichteten Fasern bestimmt. Durch Anpassen der Funktion (3.3), welche die Abschwächung des Lichts in Fasern beschreibt, ergeben sich die Schwerpunktslagen N_{130} der Pulshöhenspektren beider Fasern an Position 130 cm der Sr-Quelle (Tab.3.1).

Fig.3.9 Abschwächungscharakteristik der zur Untersuchung im Helixbereich verwendeten Fasern vor dem Versuch. Die Kurven wurden gemäß der Glg (3.3) angepasst

	Warm gebogene Faser	Kalt gebogene Faser
N_{130} [channels]	36 ± 1	33.5 ± 1
$\overline{N_{SP}}$ [channels]	33.9 ± 0.7	30.7 ± 1.2
$\overline{N_{SP}}$ / N_{130}	0.94 ± 0.04	0.92 ± 0.05

Tab.3.1. Vergleich der Lichtausbeute der Testfasern im Helixbereich, vor und während des Tests .

Der Tab.3.1 entnimmt man :

- Bei beiden Fasern machte sich durch das Biegen auf Helixform ein Lichtverlust in Form von 2 - 3 Kanälen im Spektrum bemerkbar (Die Lichtausbeute sank im Mittel auf ≈ 93 %).
- Im Rahmen der angegebenen Ungenauigkeit ist $\overline{N_{SP} - N_{130}}$ für beide Fasern gleich. Es kann kein Unterschied zwischen einer "warm" und "kalt" gebogenen Faser festgestellt werden. Im Helixbereich ist nach den obigen Ergebnissen ein "erhitzen" der mit EMA beschichteten Fasern nicht notwendig.

3.4. Lichtverluste elasisch gebogener Fasern

In diesem Abschnitt werden die Lichtverluste elastisch gebogener Fasern untersucht. Relevant wird dies bei der Zuführung der Fasern auf die Multiplierkanäle in Zone 3, wo Radien zwischen 30 cm und 120 cm auftreten, und im Verlauf der Helix (Zone1).
In einer Versuchsreihe wurden je zwei Fasern auf halbkreisförmige Scheiben gespannt. Eine Faser war mit EMA beschichtet, die andere ohne. Verwendet wurden Radien zwischen 10 cm und 30 cm (Fig.3.10); 30 cm wurde aufgrund der Ergebnisse in Kapitel 3.3 als obere Grenze gewählt.

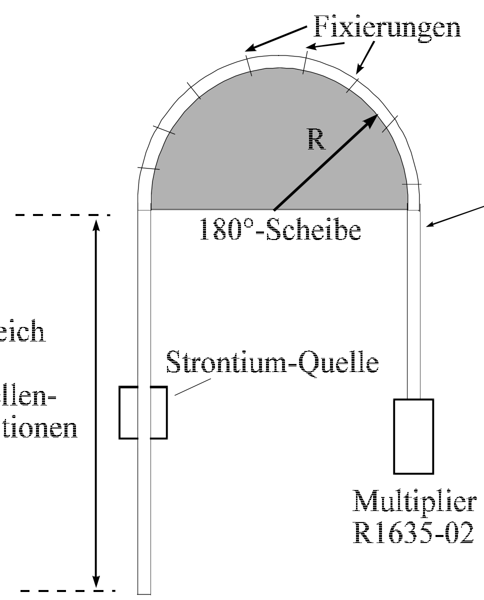


Fig.3.10. Anordnung zur Untersuchung von Licht-verlusten szintillierender Fasern durch elastische Biegung.

Über einen längeren Zeitraum hinweg wurden die ADC-Spektren der so gebogenen Fasern an verschiedenen Positionen der Sr-Quelle aufgenommen. Die Schwerpunkte dieser Spektren wurden auf die der ungebogenen Fasern normiert und dieses Verhältnis für die verschiedenen Positionen der Sr-Quelle gemittelt. Das Mittel sei mit n/N bezeichnet (≡ " bent/unbent").
In Fig.3.11 ist das Verhältnis n/N der Fasern nach ca. 970 Stunden in Abhängigkeit vom Biegeradius R mit und ohne EMA dargestellt.

Fig.3.11.a Lichtausbeute elastisch gebogener Fasern mit und ohne EMA, nach ca. 970 Stunden. Die Kurven stellen die Anpassung von Polynomen 2.Ordnung an die Meßwerte dar.

Fig.3.11.b Zeitlicher Verlauf der Lichtausbeuteabnahme elastisch gebogener, mit EMA beschichteter szintillierender Fasern im Abhängigkeit vom Biegeradius.

Fig.3.11.c Zeitlicher Verlauf der Lichtausbeuteabnahme elastisch gebogener szintillierender Fasern, ohne EMA, im Abhängigkeit vom Biegeradius.

Man erkennt :

- Mit abnehmendem Radius der elastischen Biegung sinkt die gemessene Lichtausbeute der Fasern (Fig.3.11).
- Die Lichtausbeute mit EMA beschichteter Fasern ist nach einem gewissen Zeitraum deutlich besser als die nicht beschichteter Fasern. Die Lichtausbeute mit EMA beschichteter Fasern erreicht schon ab 20 cm Biegeradius ein Plateau, dessen Mittel bei etwa 0.95 liegt (Fig.3.11).
- Die auftretenden Lichtverluste stellen sich erst im Laufe der Zeit ein (Fig.3.11.a/b).

Der Hauptteil der Lichtverluste elastisch gebogener Fasern läßt sich möglicherweise mit der ständigen Änderung der Orientierung der Grenzschichten durch den Faserverlauf erklären. Beschichtet man die Fasern mit EMA, so kann ein Entweichen des Lichts durch die Reflexionen am EMA reduziert werden. Dies deutet nur einen Teil der Ergebnisse. Die starke Abnahme der Lichtausbeute unbeschichteter Fasern mit der Zeit weist auf einen Verlust der Cladding-Eigenschaften durch Cladding-Veränderung infolge der auftretenden Kräfte oder auf eine Veränderung des Überganges zwischen Core und Cladding hin. Schlecht abschätzen lassen sich die Effekte, die durch die eventuell veränderte Abschwächungslänge gebogener Fasern verursacht werden.

Konsequenzen für den Bau der inneren Helix-Lage :

- In den Zonen 1 und 3 sind die Fasern mit EMA zu beschichten
- Thermoplastische Biegung mit EMA beschichteter Fasern in diesen Zonen ist aufgrund der geringen Lichtverluste nicht zwingend.

3.5. Lichtverluste thermoplastisch gebogener Fasern

Die unter elastischen Biegungen bei kleinen Radien auftretenden großen Lichtverluste lassen im Bereich der Stutzen (Zone 2) nur thermoplastische Biegung zu. Um die Realisierbarkeit der Faserverläufe in Zone 2 zu testen und eine Abschätzung der zu erwartenden Lichtverluste zu erhalten, wurden in einer Versuchsreihe thermoplastisch mit verschiedenen Radien gebogene Fasern untersucht. Gebogen wurde entlang eines auf einer Unterlage fixierten Kreisringes durch punktuelles Erhitzen der Fasern auf 102°C (Fig.3.12). Der Radius einer solchen Biegung, bezogen auf das Faserzentrum, ist gleich dem Radius des Kreisringes plus dem halben Faserdurchmesser. Verwendet wurden Radien von 3.75 bis 51.5 mm und Biegewinkel bis 180°. Der Versuch beobachtete die Lichtausbeute in Abhängigkeit vom Biegeradius R, vom Biegewinkel φ, der Beschichtung mit EMA oder ohne Beschichtung, und der Zeit nach der Biegung um 180°. Die Sr-Quelle befand sich bei allen Messungen stets an gleicher Position (50 cm) der szintillierenden Fasern.

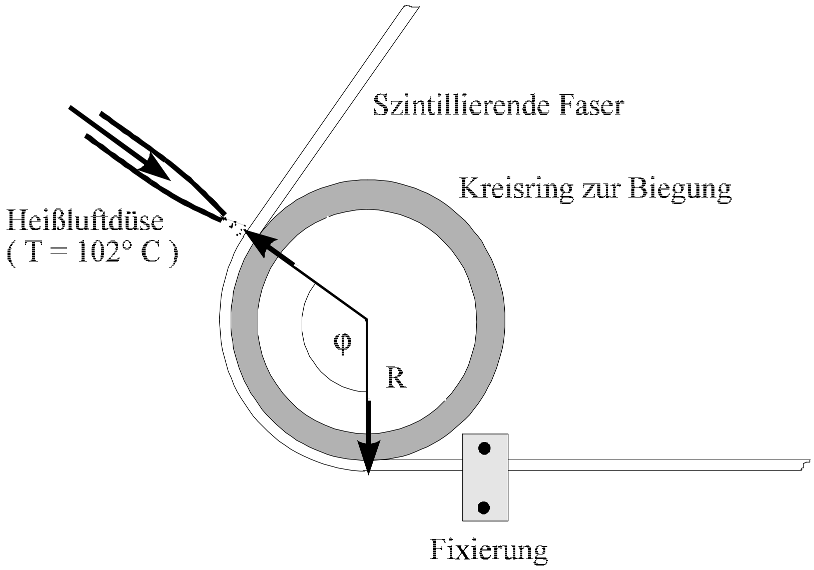


Fig.3.12. Anordnung zur Untersuchung thermisch gebogener Fasern in Abhängigkeit vom Radius R und Winkel φ

Die Schwerpunktlagen der gemessenen ADC-Spektren gebogener Fasern $n_\varphi(R)$ wurden auf die derselben Fasern, im ungebogen Zustand N bezogen. In den Fig.3.13.a-g ist das Verhältnis $n_\varphi(R)/N$ für verschiedene Radien in Abhängigkeit vom Biegewinkel dargestellt. Geht man unter Vernachlässigung von Faserveränderungen durch die thermoplastische Biegung und anderer unbekannter Effekte davon aus, daß in erster Näherung ein Bogen φ durch Hintereinanderausführung von endlich vielen Bögen dφ beschrieben werden kann und sinkt das Verhältnis n/N einer Faser bei Beschreibung eines Bogens dφ mit dem Radius R um d(n/N), so unterliegt n/N einem Exponentialgesetz. Dieses läßt sich in der Form $n/N = a + b \cdot \exp(-c \cdot \varphi)$ angeben. Die Kurven in Fig.3.13 stellen die Anpassung dieser Formel an die Meßwerte dar. In allen Fällen lag das χ^2 dieses Least-Square-Fits in der Größenordnung von 10^{-3}.

Fig.3.13.a-d Vergleich der Lichtausbeute thermoplastisch gebogener Fasern mit und ohne EMA in Abhängigkeit vom Radius. N ist der Schwerpunkt des Pulshöhenspektrums der ungebogenen und n der um den Winkel j gebogenen Faser. An die Meßwerte wurde das Exponentialgesetz $a + b \cdot exp(-c \cdot \varphi)$ *angepaßt.*

Fig.3.13.e-g Vergleich der Lichtausbeute thermoplastisch gebogener Fasern mit und ohne EMA in Abhängigkeit vom Radius. N ist der Schwerpunkt des Pulshöhenspektrums der ungebogenen und n der um den Winkel j gebogenen Faser. An die Meßwerte wurde das Exponentialgesetz $a + b \cdot exp(-c \cdot \varphi)$ *angepaßt.*

Im folgenden werden die Ergebnisse auf die obigen Parameter hin untersucht :

Parameter Zeit :

Nach 60 Tagen war keine Veränderung der Lichtausbeute der um 180° gebogenen Fasern festzustellen.

Parameter EMA,R und φ :

- Für Radien kleiner als 15 mm verliert eine mit EMA beschichtete Faser mehr Licht als eine nicht mit EMA beschichtete.
- Für Radien größer als 20 mm läßt sich der Rückgang der Lichtausbeute einer mit EMA beschichteten Faser und einer Faser ohne EMA im Rahmen der Meßungenauigkeiten, nicht mehr unterscheiden.
- $\left.\frac{n_{\varphi}(R)}{N}\right|_{\varphi=\mathrm{const}}$ sinkt mit abnehmendem R.

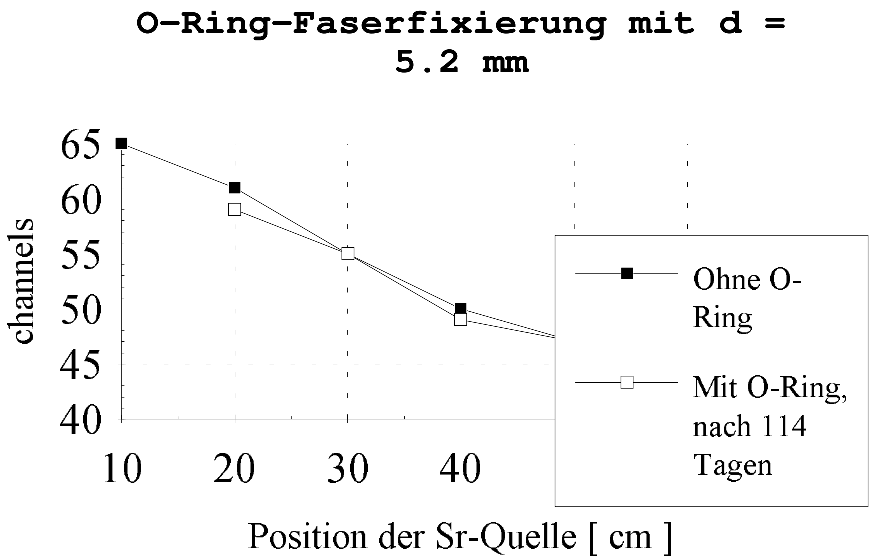
Zum Ausschluß einer Schädigung des Claddings bei kleinen Radien durch die Kombination thermoplastischen Biegens und EMA-Beschichtung, wurden die gebogenen, aber EMA-freien Fasern (für $R < 20$ mm), nach 60 Tagen ebenfalls mit EMA beschichtet. Ihre Lichtausbeute sank daraufhin entsprechend.
Zum Ausschluß einer Schädigung der EMA-Beschichtung durch thermoplastische Biegung bei kleinen Radien wurde nach 60 Tagen erneut auf eine gebogene und beschichtete Faser EMA aufgetragen. Dies bewirkte keine Veränderung der Lichtausbeute.
Der Unterschied in der Wirkung des EMA zu den Ergebnissen in Kapitel 3.4 läßt sich möglicherweise dadurch erklären, daß bei den kleinen Radien der thermoplastischen Biegung der Effekt der Totalreflexion an der Grenzschicht zwischen Cladding und Luft wieder relevant wird, der durch Beschichtung mit EMA verloren geht.

Konsequenzen für die Helix-Lage (in Zone 2):

Die Kurvenverläufe der Fasern müssen homogen sein. Jede Inhomogenität bedeutet zusätzliche Lichtverluste. Aufgrund der Ergebnisse wird in Zone 2 zur Minimierung der Lichtverluste auf eine Beschichtung mit EMA verzichtet. Bei Messungen an zwei parallel, mit realistischen Kurvenverläufen wie in Zone 2 verlaufenden, Fasern ohne EMA konnte kein von der Sr-Quelle in der einen Faser erzeugtes Licht in der anderen nachgewiesen werden. Allerdings entspricht der oben geschilderte Versuchsaufbau nicht der Realität am Strahlplatz, da Teilchen hier auch im Bereich der Zone 2 Licht erzeugen können. Der Nachweis oder der Ausschluß des Übersprechens des Lichts von einer Faser in die andere muß an einem Modul realistisch gebogener Fasern am Strahlplatz getestet werden. Ein eventuelles Auftreten des Übersprechens könnte durch loses Umwickeln der Fasern in Zone 2 mit dünner Al-Folie oder durch Al-Folie-Streifen zwischen den Fasern in Zone 2 unterbunden werden.

3.6. Untersuchung der Faserfixierung durch O-Ringe

In Kapitel 2 wurde der Ausleseteil der Röhrenhalterung vorgestellt. Fasern werden darin durch Zusammenpressen eines O-Ringes gehalten. Nach Wahl der O-Ring-Maße (Fig.2.3) verbleibt die Bestimmung des oberen Durchmessers d der kegelförmigen Vertiefung, in die ein O-Ring eingelegt wird. Zum Ausschluß von Faserschädigungen wurde die Abschwächungscharakteristik von in O-Ringen eingespannten Fasern, in Abhängigkeit von d, über einen längeren Zeitraum hinweg aufgenommen. Die Ergebnisse sind in Fig.3.14.a/b exemplarisch für die zwei kleinsten untersuchten d-Werte dargestellt. Im Rahmen der Meßfehler von 1 ADC-Kanal und der Streuung der Meßwerte ist kein Rückgang der Lichtausbeute festzustellen.



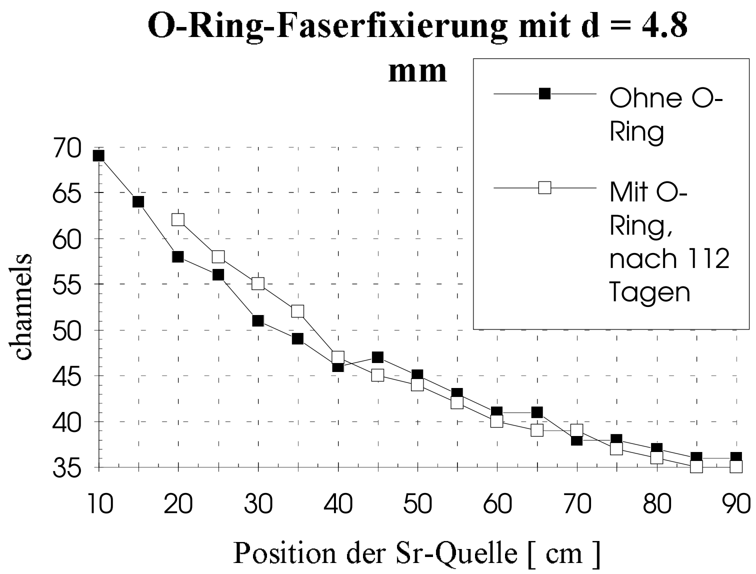


Fig.3.14.a/b Abschwächungscharakteristik szintillierender Fasern vor und nach Fixierung durch O-Ringe

Zur Bestimmung des Parameters d wurde die Zugfestigkeit der in O-Ringen gehaltenen Fasern mit und ohne EMA in Abhängigkeit von d getestet. Die Ergebnisse sind in Fig.3.15. dargestellt. Aufgrund der Ergebnisse aus Fig.3.14 und Fig.3.15 wurde d = 5.6 mm gewählt. Bei dieser Wahl bewegt sich eine Faser erst durch Zugkräfte über 10 Newton. Die Federn der Röhrenhalterung (Fig.2.3) wurden so bemessen, daß sich die in Filz eingewickelte Röhre samt Ausleseteil ab 5 Newton pro Röhrenkanal bewegt. Damit ist die Haltbarkeit dieser Faserklemmung gewährleistet.

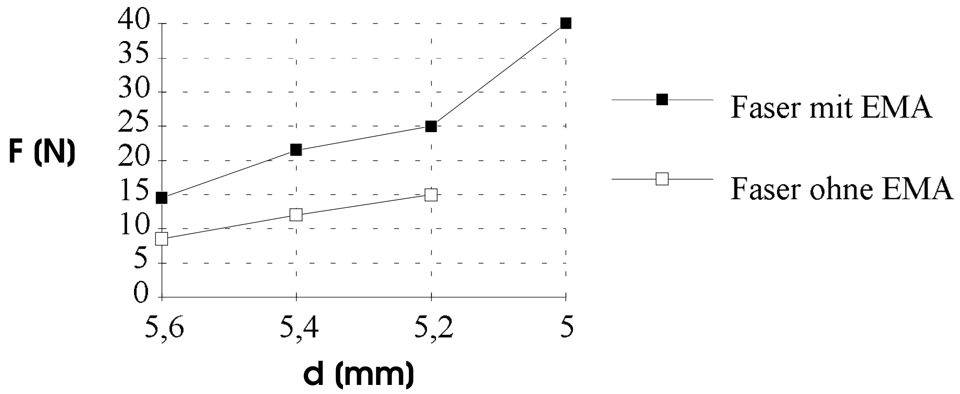


Fig.3.15 Zugfestigkeit der O-Ring-Fixierungen szintillierender Fasern mit und ohne EMA. Aufgetragen ist die maximale Zugkraft F, bei der die O-Ringe die Faser noch hielten, gegen den Kegelranddurchmesser d.

3.7 Ankopplung szintillierender Fasern über Koppelkissen

Zur Ankopplung der zuvor plan geschliffenen und polierten Faserenden an die Kanäle der Multiplier werden (Kapitel 2) sogenannte Koppelkissen oder kürzer "Pads" verwendet (Fig.2.4). Dies sind kreisförmige Plättchen aus Silikonkautschuk. Die Pads werden aus drei Bestandteilen gemischt :

A.	Eccosil 2CN	(Grundsubstanz des Silikonkautschuks ; Firma Grace)
B.	Silikon-Öl	(AK 1000, Firma Wacker-Chemie [WAK])
C.	Catalyst 50	(Härter ; Firma Grace [GRA])

Im folgenden werden Mischungsverhältnisse stets in Form des Volumenverhätnisses (A/B/C) genannt. Dabei ist C in % von A angegeben. Die Pad-Herstellung geschieht nach folgendem Schema :

1. Mischen der Substanzen im Verhältnis (A/B/C) in staubfreier Umgebung.
2. In eine Schale aus Kunststoff oder mit Teflon ausgelegte Schale ausgießen.
3. Entgasung im Vakuum (verhindert Blasenbildung).
4. Pads sind nach 6 Tagen Härtens an staubfreier Luft, belastbar.

Die Mischungen, bei denen sich keines der 16 in der Maske einer Röhre liegenden Pads durch eine längere Belastung von ca. 10 kg auf den Ausleseteil der Röhre zerstören ließen, wurden bei der nachfolgenden Untersuchung der Ankoppelungsqualität mit Pads verwendet. Ankoppeln einer Faser an einen Photomultiplier bezeichnet das Anbringen des zur Auslese vorgesehenen Faserendes an das Multiplierfenster. Dabei ist für die Qualität der Ankopplung der Bearbeitungszustand dieses Faserendes wesentlich.

N bezeichne die Schwerpunktslage des Pulshöhenspektrums der Faser, angekoppelt mit unbearbeitetem Ende, und n die Schwerpunktslage der Faser, angekoppelt mit einem (wie in Tab.3.2 angegeben) bearbeitetem Ende. In Tab.3.2 ist das Verhältnis n / N einer Faser in Abhängigkeit vom Bearbeitungszustand der Ankopplung eingetragen. Zur Lichterzeugung in der Faser wurde eine gepulste Leuchtdiode verwendet [ZIE93]. Die Faser war dabei mit EMA beschichtet.

Ankopplungsart bzw. Bearbeitungszustand	**Verhältnis n / N (±5%)**
Faserende vollständig unbehandelt (strukturlos)	1
Faserende geschliffen	1.36
Faserende poliert	1.52
Faserende poliert und Ankopplung mit optischem Fett	1.78
Faserende poliert und Ankopplung mit Pad (1 / 1 / 5)	1.68
Faserende poliert und Ankopplung mit Pad (1 / 1 / 10)	1.71
Faserende poliert und Ankopplung mit Pad (2 / 1 / 2.5)	1.71
Faserende poliert und Ankopplung mit Pad (2 / 1 / 5)	1.75
Faserende poliert und Ankopplung mit Pad (2 / 1 / 10)	1.71

Tab.3.2. Vergleich der Ankopplung einer Faser mit Pads mit anderen Ankopplungen

Im Rahmen der Meßungenauigkeit von 5% ist die Ankopplung mit optischem Fett etwa gleich der mit Pads. Die Ankopplung mit Pads ist insgesamt bequemer zu realisieren als mit optischem Fett. Pads haben darüber hinaus aufgrund ihrer Elastizität ein Formgedächtnis. Erschütterungen der Photomultiplier, wie sie bei der Montage unweigerlich auftreten werden, können bei Verwendung von Pads die Ankopplung nicht zerstören, während Fett aus der Röhrenmaske gedrückt werden kann, oder Luftblasen entstehen können.