4. Untersuchung einer Prototypwicklung im Bereich der Targetstutzen

In Fig.3.1 ist der Weg der szintillierenden Fasern beginnend mit der Helix, vorbei an den jeweils um 90° versetzt angeordneten Stutzen, strahlaufwärts bis zu den jeweiligen Photomultipliern schematisch dargestellt. Die Zone größter Schwierigkeiten liegt dort, wo die Fasern mit kleinen Krümmungsradien die Stutzen umgehen. Faserbögen, die zur Umgehung der Stutzen benutzt werden, seien im folgenden als "Stutzenbögen", die sie beschreibenden Fasern als "Stutzenfasern" bezeichnet. Alle Bögen in Zone 2, die dazu dienen, die Fasern aus ihrem um 25.17° gegen die z-Achse geneigten Verlauf nach der Helix strahlaufwärts wieder parallel zur z-Achse zu orientieren, werden als "Normbögen", die sie beschreibenden Fasern als "Normfasern" bezeichnet. Die Normbögen sind Bögen von 25.17° und 5 mm Radius.
In diesem Kapitel wird der Faserverlauf in Zone 2 untersucht und optimiert. Der zur Umgehung der Vakuumstutzen verbleibende Bereich wird durch Teile des Targetsystems auf 30 mm über dem Strahlrohr eingeschränkt (Fig.4.1).

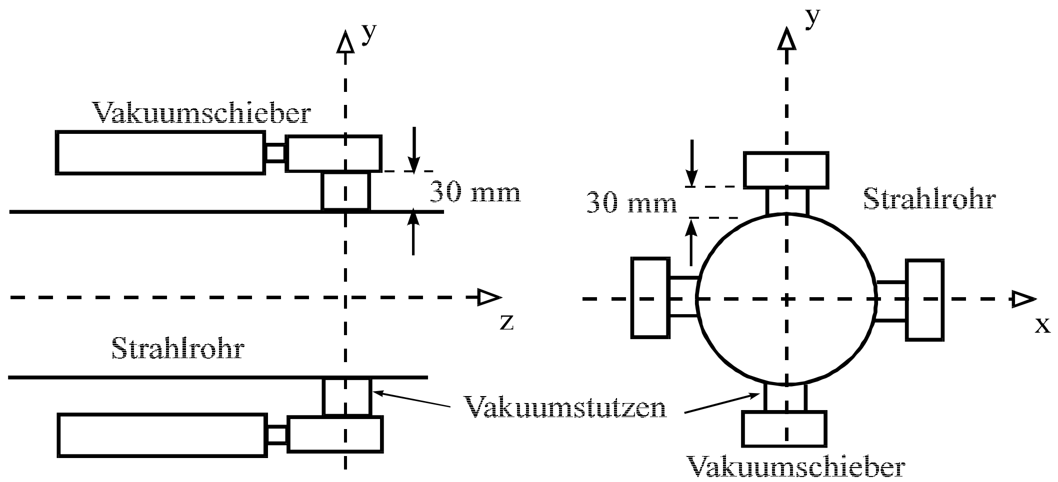

Fig.4.1. Darstellung der Vakuumstutzen und -schieber auf dem Strahlrohr bei z = 0 in zwei Perspektiven

Die Strahlrohrstutzen haben einen kreisförmigen Querschnitt (∅ = 38 mm) und ragen strahlabwärts zur Hälfte über z = 0 in den Bereich der vom Target gestreuten Teilchen hinein. Dadurch wird der detektierbare Streuwinkelbereich eingeschränkt. Der Verlust an detektierbaren Streuwinkeln, steigt von Lage zu Lage, da die Fasern zum Umlaufen der Stutzen einen gewissen Raum beanspruchen, der für die folgenden Lagen versperrt ist. Je kleiner dieser Raum ist, um so größer wird der mit der inneren Lage abgedeckte Winkelbereich für die zu untersuchende Streuung. Die Fasern umlaufen deswegen die Stutzen raumsparend stromlinienförmig. Sie verlaufen dabei ähnlich wie Stromlinien eines von einer flach strömenden Flüssigkeit umflossenen Gegenstandes, auch übereinander, soweit es die Geometrie (Fig.4.1) zuläßt. Nach den Ergebnissen aus Kapitel drei ist dabei zu beachten, daß zur Vermeidung zu großer Lichtverluste die Radien der auftretenden Bögen nicht zu klein werden.

Zur genauen Positionierung der Fasern im Helixbereich wird jede der vier Lagen des Detektors in eine Maske eingelegt. Dabei handelt es sich jeweils um dünnwandige CFK-Trägerrohre, die von der Firma Stesalith [STE] hergestellt werden (CFK = Kunststoffverstärktes Kohlefasergewebe). Jeder dieser Zylinder hat eine Wandstärke von 1 mm und besitzt 160 trapezförmige, 0.5 mm tiefe Nuten je Rohr für 160 Fasern. Die genaue Positionierung der Trägerrohre geschieht über Paßstifte, die durch die Zylinder auf das Strahlrohr reichen. Das erste Trägerrohr reicht bis z = 0 und hat vier um 90° versetzte Aussparungen für die Vakuumstutzen (Fig.4.2). Mit jeder Lage nimmt der Radius dieser Aussparungen zu, da auch der den Fasern versperrte Raum vor den Stutzen von Lage zu Lage wächst.

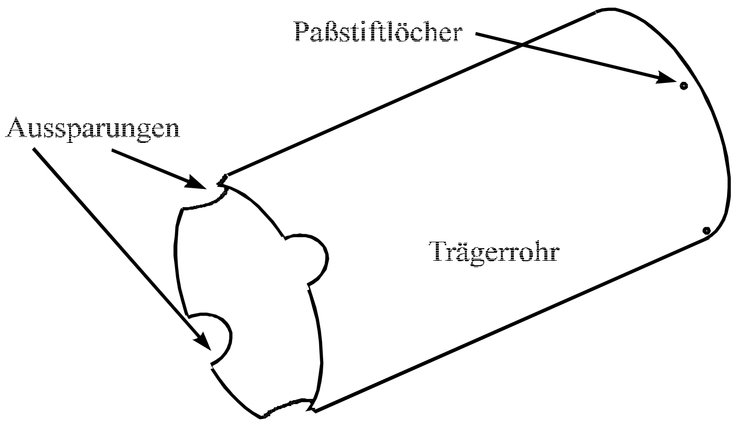

Fig.4.2 Trägerrohr zur exakten Positionierung einer Lage

Ein Prototyp der Faserverläufe in Zone 2 hat somit folgende Fragen zu beantworten :

--- Wie groß ist die Zahl der "Stutzenfasern" ?
--- Welche Radien werden benötigt ?
--- Wie groß müssen die Aussparungen der Trägerrohre sein ?
--- Wie groß wird der mit jeder der vier Lagen abgedeckte Winkelbereich sein ?
--- Wie groß sind bei gegebenem Design die zu erwartenden Lichtverluste ?

4.1. Ein Prototyp der Faserführung in Zone 2

Zur Bestimmung der oben angegebenen Punkte wurde ein Prototyp aller vier Lagen der Fasern erstellt, die um die Stutzen herum gebogen werden müssen. Das Problem weist eine 90°-Symmetrie auf. Daher reicht es, die Fasern an einem Stutzen zu modellieren. Der Wicklungssinn jeder Lage aus 160 Fasern wechselt von Lage zu Lage. Gebogen wurden 80 etwa 20 cm lange Faserstücke. In Fig.4.3 ist schematisch die Abwicklung der schraubenlinienförmigen Faserverläufe um z = 0 in eine Ebene exemplarisch für die zweite Lage der Helix dargestellt, als ob keine Vakuumstutzen vorhanden wären. Der Kreis ist die Annäherung an die Ellipse, die sich bei der Projektion eines Stutzens kreisförmigen Querschnitts auf das Strahlrohr ergibt. Er stellt den für die Fasern versperrten Bereich dar. In der ersten Lage wird diese "verbotene Zone" durch den Durchmesser des Strahlrohrstutzens bestimmt, der 38 mm beträgt. In der zweiten Lage wird die "verbotene Zone" durch den Raum erweitert, den die Fasern der ersten Lage bei ihrem Weg um die Stutzen herum einnehmen (Fig.4.3).

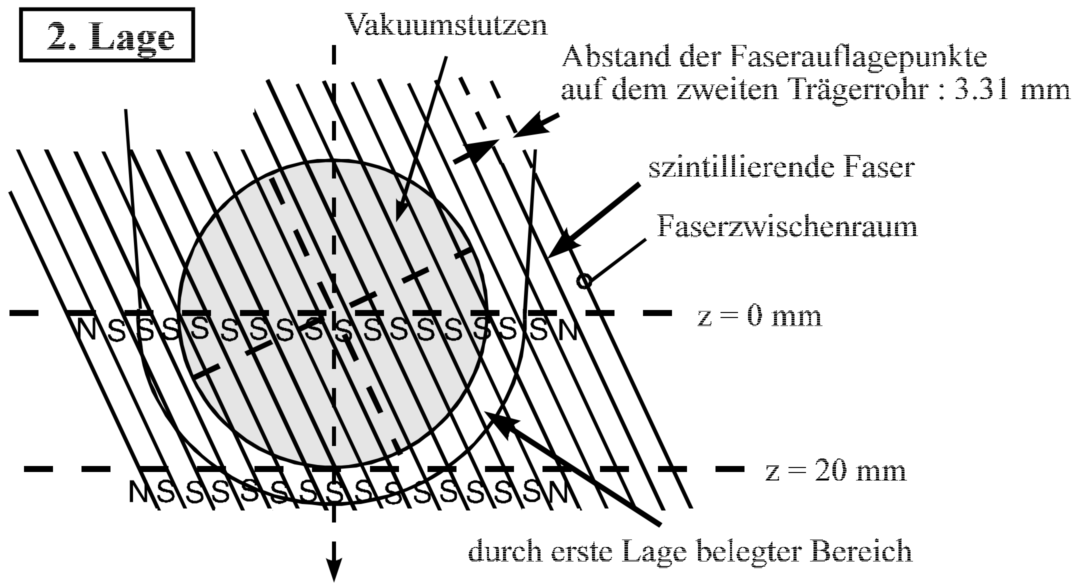

Fig.4.3 Zahl der Fasern mit Normbögen (N) bzw Stutzenbögen (S) in der zweiten Lage in Abhängigkeit vom z-Wert der Normbögen.

Da der detektierbare Streuwinkelbereich durch die Stutzen und die Faserbögen bei z = 20 mm beginnt, wurde gleichzeitig an der Geometrie der Fig.4.3 auch die Zahl der Stutzenfasern in Abhängigkeit davon bestimmt, ob die Normbögen der Normfasern bei z = 0 mm oder z = 20 mm beginnen. In der unten stehenden Tabelle sind alle relevanten Größen, die an Hand des Prototyps bestimmt wurden, aufgelistet.

	1. Lage	2. Lage	3.Lage	4.Lage
Zahl der Stutzenfasern, falls Normbögen bei z = 0	14	16	20	24
Zahl der Stutzenfasern, falls Normbögen bei z = 20	12	14	16	18
größter z-Wert der "verbotenen Zone" (mm)	24	27	30	33
Breite der "verbotenen Zone" (mm)	40	46	56	62
Abstand einer Faserseele zur z-Achse (mm)	82	85.6	89.2	92.8
Radius der Trägerrohraussparungen (mm)	20	30	40	40
kleinster auftretender Radius (mm)	5	5	6	6
Grenzwinkel der Detektion durch diese Lage (deg)	73.69	72.49	71.41	70.44

Tab.4.1. Auflistung der am Prototyp der Faserführung in Zone 2 gewonnenen Daten

Aufgrund der Ergebnisse des Prototyps wurde entschieden, die Normbögen bei z = 20 mm beginnen zu lassen.

4.2. Untersuchung einer realistisch gebogenen Faser

Im folgenden wurde eine realistisch gebogene Faser untersucht. Daran läßt sich eine Abschätzung der zu erwartenden Lichtverluste gewinnen. Die zu untersuchende Faser werde im folgenden als "Worst-Case-Faser" bezeichnet. Ihre Biegeparameter und die Zuordnung einzelner Teile zu den Zonen ist in Fig.4.4 dargestellt.

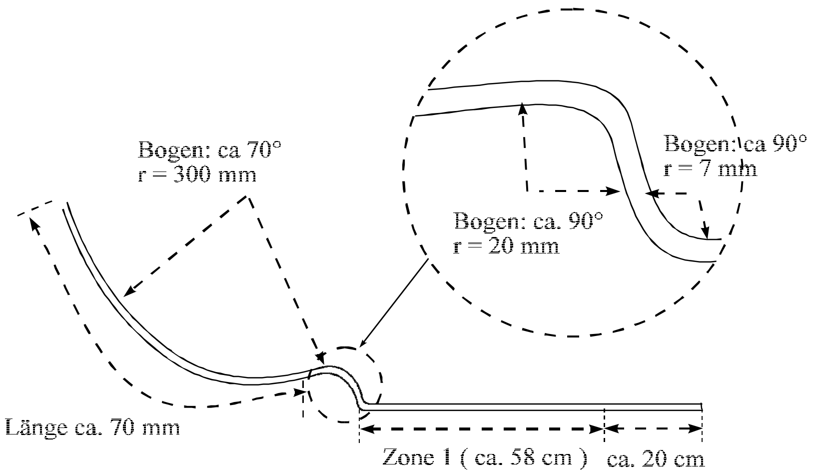

Fig.4.4 Skizze einer realistisch gebogenen Faser

Die Faser wurde in mehreren Abschnitten bearbeitet. In einem ersten Arbeitgang wurden alle Bögen hergestellt. In weiteren Stufen wurde an verschiedenen Stellen EMA aufgetragen. Gemessen und verglichen wurden folgende ADC-Spektren in chronologischer Reihenfolge.

❶ Faser unbehandelt (ungebogen, kein EMA, am auszulesenden Ende poliert)
❷ Worst-Case-Faser (Faser realistisch gebogen, aber ohne EMA; t = 0)
❸ Worst-Case-Faser nach ca. 2000 Stunden (sonst wie in 2.)
❹ Worst-Case-Faser (mit EMA überall, außer an den Bögen für Zone 2)
❺ Worst-Case-Faser (EMA auf der kompletten Faser)

In Fig.4.5. sind die Schwerpunkte der ADC-Spektren der einzelnen Messungen bei verschiedenen Positionen der Sr-Quelle relativ zum Auslese-Multiplier wiedergegeben. Es zeigt sich die Konsistenz der in Kapitel 3 gewonnenen Ergebnisse. Man erkennt, daß thermoplastische Biegung der Fasern über längere Zeiträume hinweg (hier 2000 Stunden) unkritisch ist und daß in Zone 2 zur Vermeidung übergroßer Lichtverluste auf EMA zu verzichten ist.

4.3 Abschätzung der Lichtverluste

M.H. der Meßdaten in Kapitel 3.5 lassen sich die Lichtverluste thermoplastisch um die Stutzen gebogener Fasern abschätzen. Dazu wurde ein Programm geschrieben, das mit Hilfe der in Fig.3.13 angepaßten Funktionen die Abschätzung der Lichteinbuße einer beliebig thermoplastisch gebogenen Faser erlaubt. Dabei wird die Näherung gemacht, daß sich die Verhältnisse n/N (siehe Fig.3.13) aufeinanderfolgender Bögen miteinander multiplizieren lassen. Die meisten der im Prototyp gebogenen Fasern lassen sich durch Angabe dreier Krümmungsradien und Winkel beschreiben. In Fig.4.6 sind die abgschätzen Verhältnisse n/N der Lichtausbeute (ungebogener zu gebogener Fasern) für den Bereich der Stutzen dargestellt (Fehler zwischen 5 bis 10 %). Die Fasern mit 83% Lichtausbeute sind "Normbogenfasern". Die Nummerierung der Fasern war dabei willkürlich gewählt

Fig.4.5 Abschwächungscharakteriken der untersuchten, realistisch gebogenen Faser in verschiedenen Bearbeitungszuständen.

Fig.4.6 Lichtausbeuten der Stutzenfasern aller vier Lagen, abgeschätzt m.H. der an die Meßwerte in Fig.3.13 angepaßten Funktionen