Der Nachweis minimalionisierender Teilchen mit szintillierenden Fasern

Diplomarbeit

von

Wolf Wiedmann

Januar 1991

Referent : Professor Dr. F. Hinterberger

Korreferent : Professor Dr. R. Jahn

Zusammenfassung

In der KFA Jülich ist am Beschleuniger COSY ein internes Targetexperiment zur systematischen Untersuchung der elastischen Proton-Proton-Streuung geplant (p p -> p p). Bei Protonenergien zwischen 0.5 und 2.5 GeV im Eingangskanal müssen zur Detektion der elastischen Reaktion minimalionisierende Teilchen im Ausgangskanal nachgewiesen werden. Bei dem Experiment wird eine Winkelauflösung von $\Delta\phi \leq 2°$ und $\Delta\theta \leq 2°$ angestrebt. Ein mögliches Detektorkonzept zum Aufbau eines entsprechend segmentierten Detektors sieht die Verwendung von szintillierenden Fasern ('scintillating fibers') vor.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden szintillierende Fasern verschiedener Hersteller unter anderem mit minimalionsierenden Protonen untersucht. Es wurde ermittelt, daß minimalionisierende Protonen, die in 50 cm Entfernung zum Photomultiplier eine 2 mm große Faser durchqueren, im Mittel 20 Photoelektronen auslösen (bei einer Quantumefficiency von 25 % des verwendeten Photomultipliers). Die in diesen Tests gemessene Effizienz von 2 mm Fasern mit quadratischem und rundem Querschnitt betrug nahezu 100 %.

Die Arbeit berichtet weiterhin über die experimentelle Untersuchung eines neuartigen Photomultipliers mit einem 64 fachen Multianodensystem.

Die Ergebnisse Arbeit zeigen, daß es möglich ist, den Detektor für das geplante Anregungsfunktionsexperiment allein aus szintillierenden Fasern der Größe 2 mm zu konzipieren.

Inhalt

1 Einleitung

1

1.1 Motivation 1

1.2 Detektorgeometrie 3

1.3 Thema . . . . . .

5

2 Photomultiplier VALVO XP 4702

6

2.1 Aufbau 6

2.2 Spannungsteiler 10

2.2.1 Aufbau des optimierten Spannungsteilers 10

2.2.2 Einstellung des Spannungsteilers 14

2.3 Effizienz der Verstärkungskanäle 17

2.4 Ein - Elektron - Nachweis 19

2.5 Übersprechen der Kanäle 22

3 Szintillierende Fasern

27

3.1 Funktionsweise einer Faser 27

3.2 Behandlung und Halterung der Faser 31

4 Messung mit minimalionisierenden Elektronen **34**

4.1 ^{90}Sr - Quelle 34

4.2 Versuchsaufbau 35

4.3 Durchführung 37

4.4 Theoretische Abschätzung der Photoelektronenzahlen 40

4.5 Abschwächungslängen 47

4.6 Bestimmung der gemessenen Photoelektronenzahlen 52

4.7 Einfluß des Biegens auf die Lichtausbeute 58
4.8 Zeitverhalten 60
4.8.1 Laufzeit einer Faser 61
4.8.2 Zeitauflösung 62
4.9 Multipliervergleich und Faservergleich 67

5 Messung mit minimalionisierenden Protonen 73
5.1 Theoretische Abschätzung der Photoelektronenzahlen 74
5.2 Versuchsaufbau 75
5.3 Durchführung 78
5.4 Amplituden- und Zeitauswertung 80
5.5 Bestimmung der absoluten Effizienz 85

6 Szintillierende Fasern im Detektor 91
6.1 Simulation 91
6.2 Probleme und Ausblick 96

Anhang A Daten des VALVO XP 4702 99

Anhang B Daten des HAMAMATSU R 1635-02 102

Anhang C Effizienz von Fasern mit Elektronen 105

Literatur 107

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Für den in der FA Jülich im Bau befindlichen Beschleuniger 'COSY' (**CO**oler **SY**nchrotron) ist ein internes Target Experiment zur Messung der Anregungsfunktion der elastischen Proton-Proton Streuung (pp -> pp) geplant.

Die bisher im Energiebereich oberhalb von 1.2 GeV durchgeführten Experimente zur elastischen p-p-Streuung (z.B. [LEH 89]) lieferten nur sehr lückenhaft Daten. Detaillierte Streuphasenanalysen können aufgrund der wenigen Meßdaten bislang nicht durchgeführt werden.

Ziel des Anregungsfunktionsexperimentes ist deshalb die systematische Untersuchung von Observablen (differentieller Wirkungsquerschnitt, Analysierstärke, usw.) in Abhängigkeit von der Einschußenergie und dem Streuwinkel im COSY Energiebereich von 0.5 - 2.5 GeV. Durch die Verwendung eines internen Targets besteht die Möglichkeit, die Anregungsfunktion in kleinen Energieschrittweiten (2 MeV) während der Hochbeschleunigung des Strahls über den gesamten Energiebereich zu messen. In jedem Energieintervall soll gleichzeitig ein möglichst großer Streuwinkelbereich der Teilchen im Ausgangskanal erfaßt werden.

Diese systematische Untersuchung gibt zusätzlich Aufschluß über mögliche Strukturen im Verlauf der Anregungsfunktion. Fragestellungen zur Existenz resonanter Zustände, für die es einige experimentelle Hinweise gibt ([TAT 87], [BOC 86], [LEH 89]), können somit gleichermaßen beantwortet werden.

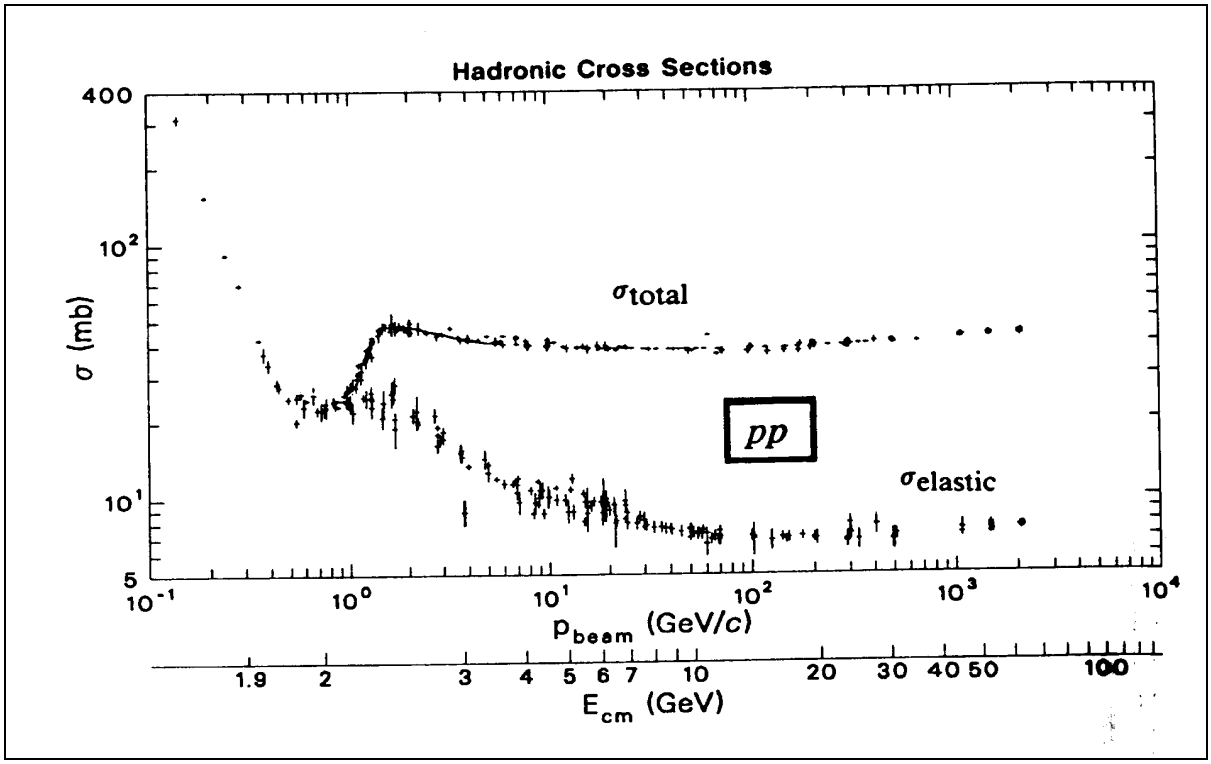

Abb 1.1 Totaler Wirkungsquerschnitt der p-p-Streuung [RPP 88]

Das Target des geplanten Detektors besteht in der ersten Experimentierphase aus einem 14 µm dicken Polypropylenfädchen (CH_2), so daß man bei einer kleinen vertikalen Strahlausdehnung von einem punktförmigen Reaktionszentrum ausgehen kann. In einer zweiten Phase ersetzt man dieses Fädchen durch einen polarisierten Atomstrahl und kann so die Polarisationsobservablen messen.

Rückschlüsse auf die elastische p-p-Streuung gegenüber den konkurrierenden inelastischen Prozessen (z.B. pp -> $d\pi^+$, pp -> $pn\pi^+$) können allein aus der Kinematik gezogen werden (bei p_{BEAM} = 1.5 GeV/c beträgt der Anteil der elastischen Reaktion am totalen Wirkungsquerschnitt ca. 50 % , Abb. 1.1). Diese kinematischen Bedingungen stellen bestimmte Anforderungen an die Geometrie des Detektors.

1.2 Detektorgeometrie

Die Detektion der elastischen p-p-Streuung erfolgt aufgrund von zwei kinematischen Gesetzmäßigkeiten.

Erstens ist jede elastische Streuung dadurch charakterisiert, daß die Trajektorien der ein- und auslaufenden Teilchen in einer Ebene, also koplanar, liegen.

Zweitens gilt im Laborsystem, falls ein Proton vor der Streuung ruht, für die beiden Streuwinkel (θ_l, θ_r) der Ejektile eine einfache Korrelation (Formel 1.1).

$$\tan(\theta_l) \cdot \tan(\theta_r) = \frac{1}{(1+T/2 \cdot m_p \cdot c^2)} \qquad (1.1)$$

(m_p = Protonenmasse; T = kinetische Energie des Protons)

Die möglichen Streuwinkel der elastisch gestreuten Protonen liegen (im Laborsystem) zwischen 0° und 90° (s. Formel (1.1)). Zudem sind die unpolarisierten Wirkungsquerschnitte rotationssymmetrisch zur Trajektorie des einlaufenden Protons, d.h. des COSY Strahls. Eine zylindersymmetrische Detektorgeometrie erscheint daher geeignet.

Abb. 1.2 und Abb. 1.3 zeigen eine mögliche Detektoranordnung. Der in diesen Projektionen

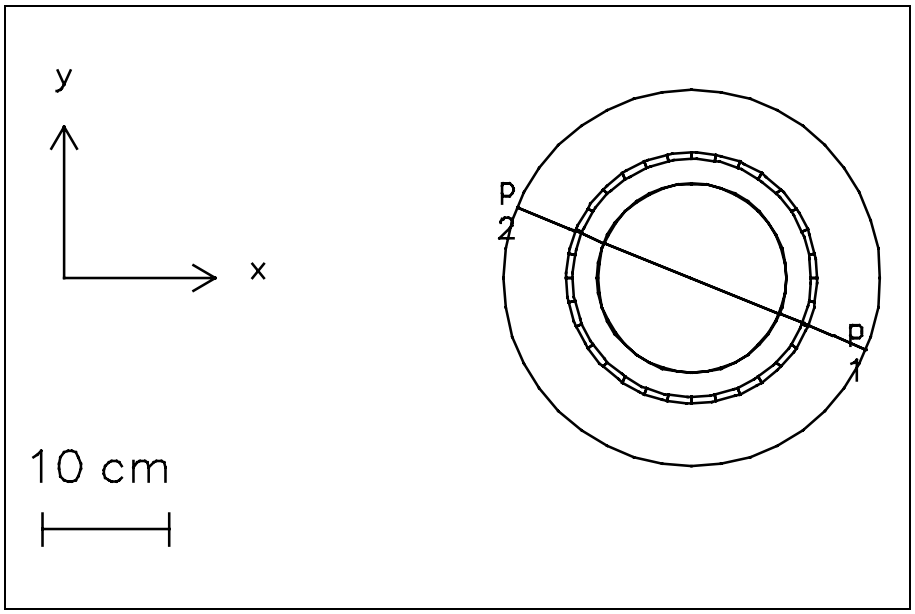

Abb. 1.2 Schnitt des Detektors senkrecht zur z-Richtung [LAH 90]

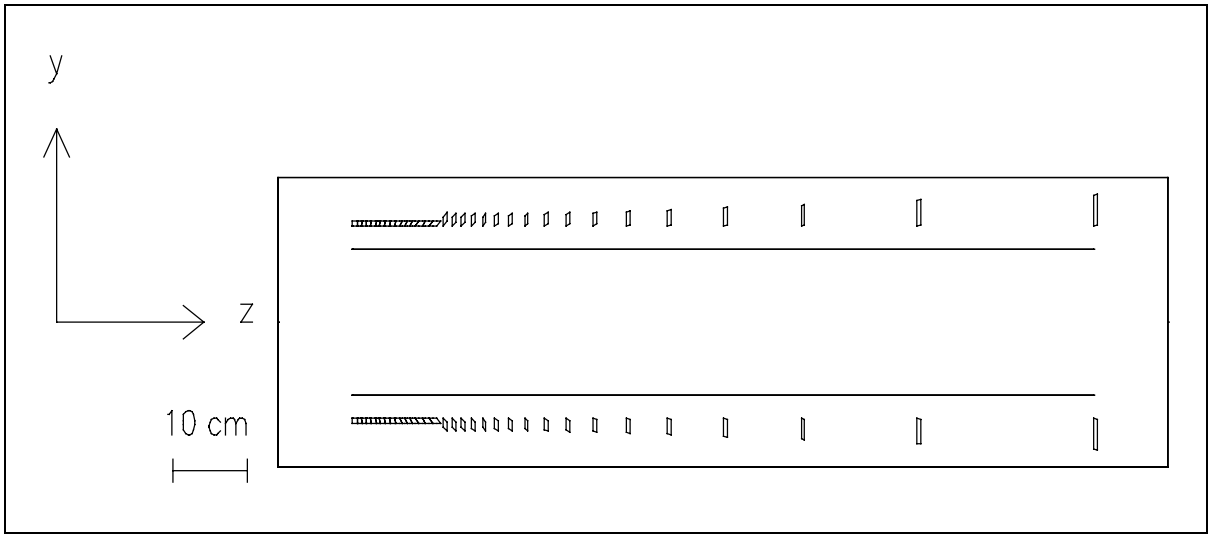

Abb.1.3 Schnitt des Detektors längs der z-Richtung [LAH 90]

gezeigte Detektor besteht aus zwei Lagen Szintillatormaterial, die jeweils eine Triggerstufe bilden. Die innere Lage (Abb. 1.2) stellt die Koplanarität des Ereignisses fest.

Die äußeren Szintillatorringe (Abb. 1.3) sind so geschnitten, daß bei einer elastischen Streuung jeweils ein Detektorsegment von einem Ejektil getroffen wird. Durch die Lage der Detektorsegmente zum Target sind die Streuwinkel dieser Ejektile bekannt. Gemäß Formel (1.1) kann dann die elastische Reaktion nachgewiesen werden.

Die Größe der Szintillatoren legt die Genauigkeit fest, mit der die Streuwinkel θ_l und θ_r bestimmt werden können. In Abb. 1.3 sind die Segmentgrößen so gewählt, daß man eine konstante Winkelauflösung von 5° im CM-System erhält. Man erkennt, daß besonders in den Rückwärtswinkeln (bezogen auf das CM-System) die Segmente sehr kleine Ausmaße haben.

Dies führt zu der Idee, in diesem Bereich die Segmente aus normalem Plastikszintillator-material wahlweise durch szintillierende Fasern ('scintillating fibers') zu ersetzen. Diese Fasern zeichnen sich neben dem niedrigen Preis (sie sind bis zu einem Faktor 200 billiger als Plastikszintillatoren gleicher Größe) durch eine hohe mechanische Flexibilität aus. Sie sind also prädestiniert für den Einsatz in Detektoren mit komplizierteren Geometrien.

In Hinblick auf die Verwendung eines polarisierten Atomstrahls (Durchmesser ≈ 1 cm) als Target, bei dem man nicht mehr von einer punktförmigen Reaktionszone ausgehen kann, könnte jedes Szintillatorsegment aus jeweils einer Faser bestehen. Mit mehreren Schichten solcher Fasern, in zwei verschiedenen Abständen um das Strahlrohr gewickelt, könnte dann

der Vertex der Streuung rekonstruiert und damit die elastische p-p-Streuung eindeutig nachgewiesen werden.

1.3 Thema

Ziel dieser Arbeit ist nun zu untersuchen, ob diese szintillierenden Fasern ('scintillating fibers') als Triggerstufen bzw. zusätzlich ortsauflösende Elemente für den Detektor geeignet sind.
Das Problem gliedert sich dabei in zwei Teile. Erstens stellt sich die Frage nach den Eigenschaften solcher Fasern, und zweitens nach geeigneten Photomultipliern, die das Licht der szintillierenden Fasern in elektrische Signale umwandeln.

Die Untersuchung geeigneter Photomultiplier wird sich in Kapitel 2 auf einen neuartigen, von VALVO entwickelten Multiplier (XP 4702) konzentrieren, der speziell für die Verwendung szintillierender Fasern bis 2 mm Größe konstruiert worden ist. Er besitzt den Vorteil, bei den Außenmaßen üblicher Photomultiplier 64 getrennte Kanäle in einer Röhre zu vereinen.

Die Eigenschaften der in den üblichen Maßen (bis 2 mm Größe) und Formen (runde bzw. quadratische Querschnittsfläche) erhältlichen Fasern werden in Kapitel 4 und Kapitel 5 besonders in Hinblick auf den Einsatz in dem im Abschnitt 1.2 beschriebenen Detektor untersucht. Dabei entscheiden Eigenschaften wie z.B. gute Biegsamkeit, große Abschwächungslänge und hohe Effizienz über die Wahl der Faser.
Diese Fasertests werden mit einem gewöhnlichen Einkanalmultiplier der Firma HAMAMATSU (R 1635-02) durchgeführt, um einen Vergleich mit dem VALVO XP 4702 ziehen zu können.

In den Tests standen Elektronen einer Betaquelle (^{90}Sr) und minimalionisierende Protonen aus dem Großbeschleuniger SATURNE als ionisierende Teilchen zur Verfügung.