1. Einleitung

Seit April 1993 ist am Forschungszentrum Jülich das **Co**oler-**Sy**nchrotron COSY in Betrieb. Es stellt u. a. Protonen in einem Energiebereich von 40 bis 2500 MeV (entsprechend 270 bis 3300 MeV/c Impuls) zur Verfügung. Durch die Verwendung von Elektronenkühlung und stochastischer Kühlung kann ein Strahl mit kleiner Ausdehnung und geringer Impulsunschärfe erzeugt werden. Desweiteren zeichnet sich der Strahl an den Experimentierplätzen durch eine geringe Emittanz von unter 1 mm mrad aus [COS90]. Wegen dieser guten Strahlqualität sind Präzisionsexperimente möglich, auf Grund derer man neue Erkenntnisse im Bereich der starken Wechselwirkung erwartet.
Die gute Impulsauflösung ($\Delta p/p = 1 \cdot 10^{-3}$ bis $2 \cdot 10^{-4}$) entspricht einer Energieauflösung ΔE von weniger als 1 MeV, so daß Konzepte mit einer Energieschrittweite von 1 MeV möglich sind. Dazu werden an COSY neben externen Strahlplätzen auch interne Meßplätze verwendet. Voraussetzung für den Einsatz interner Targets ist eine hinreichend geringe Flächenbelegungsdichte, durch die der Strahl möglichst wenig aufgeheizt wird. Durch den umlaufenden Strahl steht im Vergleich zu einem externen Strahl ein weit größerer Strahlstrom zur Verfügung, so daß Messungen bei einer Vielzahl von Energien mit guter Statistik bei vertretbarem Aufwand durchgeführt werden. Deshalb ist ein internes Experiment auch der sinnvollste Weg für den Einsatz von (polarisierten) Atomstrahltargets, da nur so eine ausreichende Luminosität zu erreichen ist.
Die Quantenchromodynamik (QCD) dient zur Beschreibung der starken Wechselwirkung. Die Kräfte zwischen den Quarks werden durch den Austausch von Gluonen als Feldquanten beschrieben. Im Gegensatz zu den Feldquanten der Quantenelektrodynamik, den Photonen, wechselwirken die Gluonen miteinander. Diese Selbstwechselwirkung der Gluonen führt bei niedrigen Energien dazu, daß QCD-Rechnungen sehr kompliziert werden. Ob die in diesem Energiebereich statt dessen verwendeten Modelle die Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung richtig beschreiben, kann nur anhand eines Vergleichs der theoretischen Vorhersagen mit experimentellen Ergebnissen entschieden werden. Als Schnittstelle zwischen Theorie und Experiment dienen Streuphasenanalysen, mit deren Hilfe der Streuprozeß beschrieben wird. Eine vollständige Streuphasenanalyse erfordert allerdings möglichst lückenlose und präzise Daten im untersuchten Energieintervall.
Derartige Daten soll das interne Experiment EDDA (**E**xcitation Function **D**ata Acquisition **D**esigned for **A**nalysis of Phase Shifts) liefern. Ziel des EDDA-Experiments ist die sehr genaue Vermessung der Anregungsfunktion der elastischen Proton-Proton-Streuung

$$p + p \rightarrow p + p.$$

Dies soll in der ersten Phase für den unpolarisierten differentiellen Wirkungsquerschnitt und in der zweiten Phase zusätzlich für vier Polarisationsobservable im Energiebereich von 250 bis 2500 MeV mit gleichzeitig guter Energie- sowie Winkelauflösung erfolgen [BIS90]. Bisher existieren derartige Daten nur im Bereich unterhalb 1 GeV bzw. nur für ausgewählte Winkelbereiche. Zudem besitzen die Daten eine breite Streuung, die auf Probleme bei der relativen Normierung zurückzuführen ist. Mit dem EDDA-Experiment ist die Vermessung des differentiellen Wirkungsquerschnitts mit einem relativen Fehler von unter 1% geplant. Die genaue Kenntnis der Anregungsfunktion über große Energie- und Winkelbereiche er-

möglicht dann eine detaillierte Streuphasenanalyse, mit deren Hilfe man Modelle der Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung überprüfen und entwickeln kann.

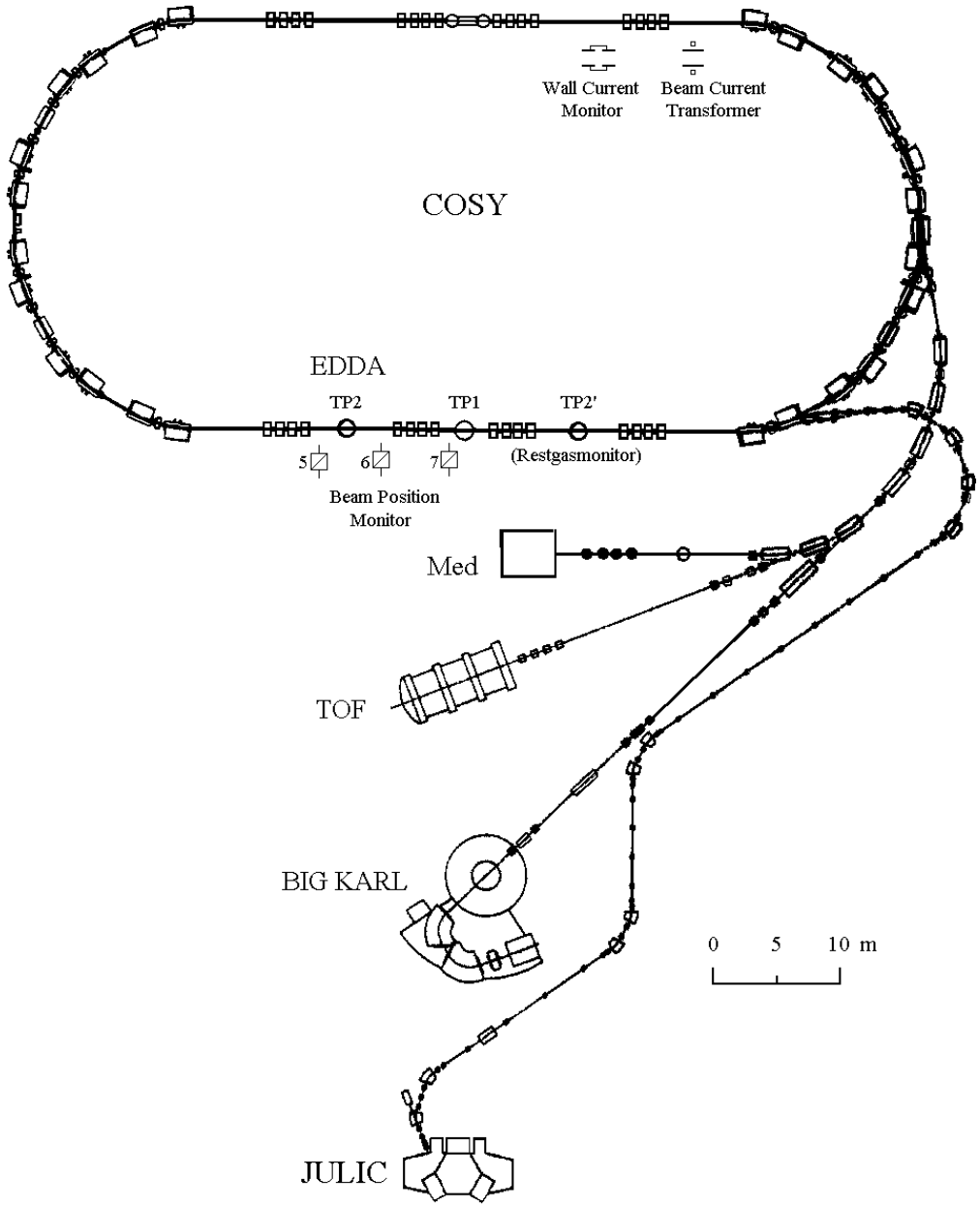

Abb. 1.1 : Schematische Darstellung des COSY-Beschleunigers
TPn : interne Strahlplätze
TOF, BIG KARL, Med : externe Strahlpätze

Wegen der kleinen Energieschrittweite können mit dem EDDA-Experiment auch relativ schmale Strukturen (Γ<100 MeV) erkannt werden. Von verschiedenen Autoren werden, ausgehend vom Quark-Bag Modell, dibaryonische Zustände unterschiedlicher Lage und Breite vorhergesagt [LOC86]. Diese Zustände aus sechs Quarks sollten sich als Resonanzen in der Anregungsfunktion zeigen. Der Nachweis solcher Dibaryonen kann als Prüfstein für die Richtigkeit der zugrundeliegenden theoretischen Modelle gelten. Zwar wurden in

Proton-Proton-Systemen experimentelle Hinweise darauf gefunden [RUH86], [SHI90], [BAL94] für einen Beweis, daß derartige Resonanzen existieren, reichen die vorhandenen Daten aber nicht aus. Das EDDA-Experiment kann deshalb einen Beitrag zur Klärung dieser offenen Fragen liefern.
Das EDDA-Experiment ist am internen Strahlplatz TP2 aufgebaut (siehe Abb. 1.1). Für Messungen des Strahlprofils ist noch ein weiterer Strahlplatz (TP2') wegen seiner ionenoptisch identischen Eigenschaften von Interesse.
Neben experimenteigenen Meßgeräten werden auch Diagnoseelemente des COSY-Rings zur Überwachung der Luminosität verwendet. Dazu sind einige der in Kap. 2 beschriebenen Monitore in Abb. 1.1 hervorgehoben.
Die hohe Energieauflösung wird durch Messungen während der Hochbeschleunigungsphase des COSY-Strahls (nachfolgend Rampe genannt) erreicht. Innerhalb des oben angegebenen Intervalls ist eine Auflösung von 1-2 MeV für ΔE vorgesehen.
Abb. 1.2 zeigt den schematischen Aufbau des EDDA-Detektors. Die Protonen werden mit zwei zylindrisch um das Strahlrohr angeordneten Lagen aus Plastikszintillatoren nachgewiesen. Die Außenlage besteht zum einen aus zwei Halbschalen aus Szintillatorhalbringen, zum anderen aus Szintillatorstäben. Die Halbringe dienen zur Bestimmung des Polarwinkels θ, mit den Stäben wird der Azimutwinkel φ festgestellt. Durch einen teilweisen Überlapp der Stäbe und Ringe untereinander kann die Ortsauflösung durch die sogenannte Amplitudenteilung verbessert werden [WOL92]. Ein Teilchen verliert dabei auf seinem Weg durch die Außenlage in zwei benachbarten Szintillatoren Energie. Das Verhältnis der Energien entspricht dem der Weglängen und liefert den Durchstoßpunkt mit einer höheren Auflösung als der Granularität der Detektorkomponenten. Die so erreichbare Winkelauflösung für θ_{lab} und φ liegt bei ca. 1.5° [BOL92].
Die innere Lage besteht ihrerseits aus vier Lagen szintillierender Fasern mit 2.5 mm Durchmesser. Jeweils zwei dieser Lagen sind als links- bzw. rechtsdrehende Helix auf einen Träger aus kohlefaserverstärktem Kunststoff gewickelt. Mit Hilfe der Durchstoßpunkte in der inneren und der äußeren Lage kann eine Vertexrekonstruktion vorgenommen werden [LAH92]. Anders als beim Feststofftarget kann bei der Verwendung eines Atomstrahltargets die Wechselwirkungszone nicht mehr als punktförmig angesehen werden. Hier ermöglicht die Vertexrekonstruktion die Überprüfung, ob der Wechselwirkungspunkt des Ejektils in der Targetregion ($\sigma_y \approx \sigma_z \approx 5$ mm) lag.
Der Detektor deckt einen Laborwinkelbereich von $9° < \theta_{lab} < 72°$ ab, was ca. 85% von 4π im CM-System entspricht.
Der Protonenstrahl erzeugt im Target unter anderem δ-Elektronen. Deren kinetische Energie liegt in einem Bereich bis 13 MeV für eine Maximalenergie der einlaufenden Protonen von 2.5 GeV. Um einen zu hohen Untergrund durch zufällige Koinzidenzen im Detektor zu vermeiden, wurde das Strahlrohr dahingehend optimiert, daß möglichst viele der Sekundärelektronen vor der Innenlage gestoppt werden, Protonen aber weitgehend ungestört passieren können. Als Ergebnis beträgt die Wandstärke des Strahlrohrs (Material : Al) unter der Innenlage 2 mm. Um die erforderliche Massenbelegung zum Stoppen der Elektronen (bei gleichzeitig geringer Vielfachstreuung der Protonen) zu erhalten, wird zusätzlich eine Schicht von 3 mm Plexiglas aufgebracht.

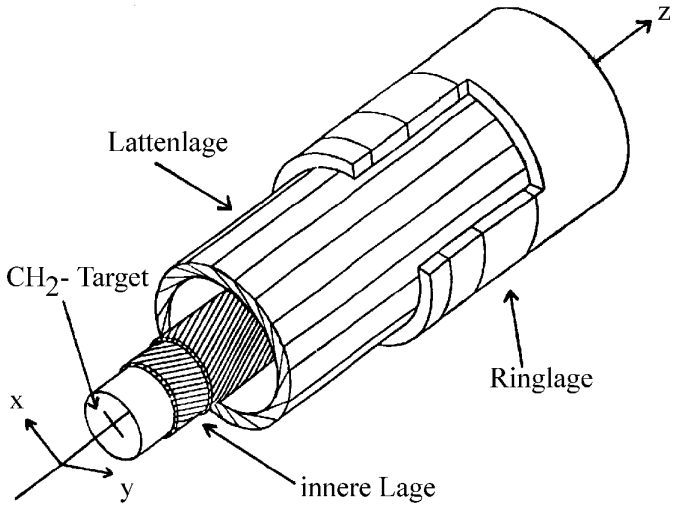

Abb. 1.2 : Schematischer Aufbau des EDDA-Detektors

Da die δ-Elektronen aber zu Normierungszwecken registriert werden sollen, wurden in ausgewählten Winkelbereichen kleine Vertiefungen (im Weiteren Fenster genannt) in das Strahlrohr eingefräst. Als Detektoren für die Elektronen kommen Halbleiterzähler zum Einsatz.
In der ersten Phase des Experiments wird für die Messung des unpolarisierten Wirkungsquerschnitts $d\sigma/d\Omega$ ein Wasserstofftarget in Form eines wasserstoffhaltigen Kunststoffadens mit einem Durchmesser von maximal 14 μm verwendet. Die Fäden bestehen aus Polypropylen (CH_2), das durch eine Bedampfung mit Aluminium an der Oberläche leitfähig gemacht wurde. Die neben der elastischen Proton-Proton-Streuung auftretenden inelastischen Reaktionen am Wasserstoff und die Summe der Reaktionen am Kohlenstoff bilden den Untergrund. (Elektronen tragen aus den oben genannten Gründen nicht oder nur wenig zum Untergrund bei und werden hier vernachlässigt.) Zusätzlich werden Kontrolltargets aus reinem Kohlenstoff eingesetzt, um z.B. Untergrundmessungen zur quasielastischen Streuung von Protonen an den Kohlenstoff-Kernen durchzuführen. Das jeweilige Target wird über einen Wechselmechanismus ausgewählt und mit einem Linearmotor in die Strahlachse gefahren. Die Fahrbewegung erfolgt zeitlich synchronisiert mit dem Timing-System von COSY. Die große Flächenbelegungsdichte des Targets erfordert eine Reduktion der Strahlintensität, um hohe Totzeiten in der Datenaufnahme und zufällige Koinzidenzen zu minimieren. Die typische Luminosität liegt in der Größenordnung von 10^{30} $cm^{-2}s^{-1}$.
In der zweiten Phase des EDDA-Experiments wird das Feststofftarget durch ein Atomstrahltarget ersetzt. Durch den Einsatz von polarisiertem Atomstrahl bzw. polarisiertem COSY-Strahl können die Vektoranalysierstärke A_y sowie die Polarisationskorrelationsparameter A_{xx}, A_{yy} und A_{xz} [WIE94] gemessen werden. Wegen der geringen Dichte des Atomstrahls wird in dieser Phase die maximale an COSY erreichbare Strahlfüllung von etwa 10^{11} Protonen im Ring angestrebt, was eine Luminosität im Bereich von 10^{29} $cm^{-2}s^{-1}$ ergibt (siehe Kap. 2). Bislang wurde im COSY-Energiebereich noch keine derartige Messung mit internem Target durchgeführt, weshalb der aktuelle Weltdatensatz sehr lückenhaft ist.

Zur Unterdrückung des Untergrunds wird im EDDA-Experiment ein Trigger mit zwei Bedingungen der elastischen Streuung eingesetzt : Die auslaufenden Protonen spannen (wegen der Impulserhaltung) mit dem Strahl eine Ebene auf, d.h. der Betrag der Azimutwinkeldifferenz der Ejektile beträgt 180°

$$\left|\varphi_1 - \varphi_2\right| = 180° \qquad (1.1)$$

Zweitens ergibt sich wegen der identischen Massen von Projektil und Target eine einfache kinematische Korrelation für die Polarwinkel θ_1 und θ_2 der auslaufenden Protonen

$$\tan\theta_1 \cdot \tan\theta_2 = \frac{2m_p}{T + 2m_p} \qquad (1.2)$$

mit Protonenmasse m_p und Strahlenergie T. Unter Verwendung dieser Triggerbedingungen werden über 80% der Untergrundreaktionen unterdrückt [SCH91].

Eine wichtige Größe für das EDDA-Experiment ist das Normierungssignal für die Zählrate, da Schwankungen in der Luminosität Strukturen in der Anregungsfunktion vortäuschen könnten. Ziel der Arbeit war es, verschiedene Methoden zur relativen Luminositätsbestimmung hinsichtlich ihrer Eignung als Normierungssignal für die Messung der Anregungsfunktion während der Beschleunigungsrampe zu untersuchen.
In Kapitel 2 werden zunächst die benötigten Meßgrößen für die direkte bzw. indirekte Bestimmung der Luminosität zusammengestellt. Danach werden alle bisher vorhandenen bzw. geplanten Verfahren kurz vorgestellt und gewertet. Anhand dieser Wertung ergeben sich für den weiteren Fortgang zwei Schwerpunkte, die beide auf der Bestimmung der Luminosität über Elektronenemission aus dem Target beruhen.
Kapitel 3 beschäftigt sich mit Luminositätsmessungen mit Hilfe von Halbleiterdetektoren. Da PIN-Photodioden einige Vorteile gegenüber herkömmlichen Halbleiterzählern besitzen, wird in diesem Kapitel untersucht, inwiefern PIN-Dioden für diese Art von Messung geeignet und im EDDA-Experiment einsetzbar sind.
Für die erste Phase des Experimentes, in der ein Feststofftarget verwendet wird, bietet sich auch die Vermessung des gesamten Emissionsstroms der aus dem Target ausgelösten Elektronen an. Da diese Strommessung mit den erforderlichen Meßbereichen und Abtastraten mit kommerziellen Geräten nicht möglich war, wurde ein entsprechendes Pikoamperemeter selbst konzipiert und aufgebaut. Dessen Aufbau sowie Tests am EDDA-Experiment werden in Kapitel 4 beschrieben.
Mit Hilfe dieses Amperemeters und des Feststofftargets sind am Strahl auf relativ einfache Weise Strahlprofilmessungen möglich. Derartige Messungen, wie sie am Bonner Zyklotron und an COSY durchgeführt wurden, sind in Kapitel 5 vorgestellt.
Bei der Verwendung von Feststofftargets treten bei längerer Bestrahlungsdauer Strahlenschäden auf, die sich in Stöchiometrieveränderungen (Verhältnis C:H) äußern. Da diese Stöchiometrieveränderung ihrerseits zu einer Veränderung der Untergrundzählrate der gemessenen elastischen Proton-Streuung führt, soll der Effekt laufend beobachtet werden. In Kapitel 6 wird gezeigt, wie die Veränderung des Stöchiometrieverhältnisses mit Hilfe von PIN-Dioden bestimmt werden kann.
Es schließen sich in Kapitel 7 eine Diskussion der Ergebnisse und ein kurzer Ausblick an.