

# Ein Myontrigger für den H1-Detektor bei HERA

Diplomarbeit

vorgelegt von

Dominik Schmedding  
Universität Hamburg  
II. Institut für Experimentalphysik

27. November 1991



# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>   | <b>2</b>  |
| 1.1      | Der Speicherring HERA . . . . .                             | 3         |
| 1.2      | Der H1-Detektor . . . . .                                   | 4         |
| 1.3      | Der H1-Trigger . . . . .                                    | 6         |
| 1.4      | Das Simulationsprogramm H1SIM . . . . .                     | 7         |
| <b>2</b> | <b>Das instrumentierte Eisen</b>                            | <b>10</b> |
| 2.1      | Funktionsweise der Streamerrohre . . . . .                  | 10        |
| 2.2      | Der Eisentrigger . . . . .                                  | 12        |
| 2.2.1    | Effizienz einzelner Triggerlagen . . . . .                  | 12        |
| 2.2.2    | Der Eisentrigger mit 3 aus 5 Lagen . . . . .                | 14        |
| <b>3</b> | <b>Die Proportionalkammern</b>                              | <b>23</b> |
| 3.1      | Aufbau der Proportionalkammern . . . . .                    | 23        |
| 3.2      | Die Triggerinformation . . . . .                            | 25        |
| 3.2.1    | Der z-Vertex-Trigger . . . . .                              | 27        |
| 3.2.2    | Effizienz der Proportionalkammern . . . . .                 | 29        |
| <b>4</b> | <b>Der kombinierte Myontrigger</b>                          | <b>34</b> |
| 4.1      | Korrelationen der Triggersignale . . . . .                  | 34        |
| 4.1.1    | Zuordnung in $\vartheta$ . . . . .                          | 34        |
| 4.1.2    | Zuordnung im Zentralbereich in $\varphi$ . . . . .          | 34        |
| 4.1.3    | Zuordnungen im Bereich der Endkappen . . . . .              | 37        |
| 4.2      | Effizienz des Triggers für einzelne Myonen . . . . .        | 37        |
| <b>5</b> | <b>Der Myontrigger in physikalischen Ereignissen</b>        | <b>45</b> |
| 5.1      | Myonen aus $c\bar{c}$ - und $b\bar{b}$ -Zerfällen . . . . . | 45        |
| 5.2      | $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$ -Ereignisse . . . . .       | 46        |
| 5.3      | Myonen aus W-Boson Zerfällen . . . . .                      | 51        |
| 5.4      | Untergrund . . . . .  | 52        |
| <b>6</b> | <b>Zusammenfassung</b>                                      | <b>55</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>                                 | <b>56</b> |

# Kapitel 1

## Einleitung

Ein wichtiges Forschungsgebiet der Elementarteilchenphysik ist die Untersuchung der Struktur von Protonen. Im Vergleich zu früheren *Fixed-Target*-Experimenten steht bei HERA mit 314 GeV eine sehr große Schwerpunktsenergie zur Verfügung. Damit wird es möglich, den Bereich des Viervektor-Übertrags  $Q^2$  von etwa hundert  $GeV^2$  auf  $\sim 10^5 GeV^2$  zu erweitern. Von besonderem Interesse ist die Physik bei kleinen Werten  $x$ . Die Variable  $x$  beschreibt im Quark-Parton-Model den Impulsanteil des Protons, den das gestreute Parton trägt. Bei kleinen Werten von  $x$  erwartet man große Beiträge von Gluonen. Die bisher gemessenen Daten erlauben allerdings keine eindeutige Bestimmung der Gluonstrukturfunktionen für  $x < 10^{-2}$ .

Um die Gluonstrukturfunktion bei kleinen  $x$ -Werten ( $10^{-3}$ ) zu bestimmen, können u.a.  $J/\psi$ -Ereignisse aus Photoproduktion genutzt werden [Tka88]. Das  $J/\psi$  kann leptonisch in  $e^+e^-$  oder  $\mu^+\mu^-$  zerfallen. Myonen sind relativ leicht zu triggern, und die Messung ist mit wenig Untergrund behaftet. Das Triggern der Myonen aus  $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$  verdoppelt nicht nur die Statistik gegenüber dem  $J/\psi$ -Zerfall  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ , sondern erlaubt auch den Vergleich von Zerfallskanälen, die die gleiche Physik betreffen aber mit unterschiedlichen systematischen Effekten behaftet sind.

Experimente bei HERA geben zum ersten mal die Möglichkeit, den  $WW\gamma$ -Vertex direkt zu untersuchen. Die Untersuchung des  $WW\gamma$ -Vertex sollte es ermöglichen, das anomale magnetische Dipol- und elektrische Quadrupolmoment des W-Bosons zu bestimmen. Wirkungsquerschnitt- und Ratenberechnungen ergeben etwa 15 Ereignisse pro 100  $pb^{-1}$ , wenn man Zerfälle des W-Bosons in Elektron und Myon mißt [Atw88]. Bei so geringen Raten ist es besonders wichtig, sowohl Elektronen als auch Myonen zu triggern.

Die vorliegende Diplomarbeit befaßt sich mit Untersuchungen zu einem Myontrigger für den H1-Detektor bei HERA, der die Signale zweier Trigger einer niedrigeren Triggerstufe miteinander verknüpft. Die Triggersignale der Proportionalkammern im Inneren des Detektors sollen mit denen des instrumentierten Eisens, das den Detektor außen umschließt, verknüpft werden.

Ein Trigger hat die Aufgabe, Untergrunddaten zu unterdrücken und interessante Daten zu selektieren. Aber nur wenn bekannt ist, wie groß der Anteil der getriggerten Ereignisse ist,

kann die Gesamtzahl der produzierten Ereignisse eines bestimmten Prozesses, und damit der Wirkungsquerschnitt, berechnet werden. Deshalb ist es sehr wichtig die Triggereffizienz zu kennen.

Im ersten Kapitel wird der Speicherring HERA und der Detektor H1 sowie der Aufbau des H1-Triggers kurz beschrieben. Dann wird das Detektorsimulationsprogramm H1SIM, mit dem die Daten für diese Arbeit erzeugt wurden, vorgestellt. In Kapitel 2 und 3 werden die Untersuchungen zu den beiden einzelnen Triggern dargestellt, und zwar in Kapitel 2 die Untersuchungen zum instrumentierten Eisen und in Kapitel 3 die zu den Proportionalkammern. Die Kombination der beiden Trigger zu einem Myontrigger und ein Test mit einzeln simulierten Myonen ist in Kapitel 4 beschrieben. In Kapitel 5 finden sich die Ergebnisse der Tests des Triggers mit Myonen aus folgenden physikalischen Prozessen:  $c\bar{c}$ -,  $b\bar{b}$ -,  $J/\psi$ - und  $W$ -Ereignisse und Tests mit Untergrunddaten.

## 1.1 Der Speicherring HERA

Der Speicherring HERA ist der erste Speicherring, in dem Protonen und Elektronen zur Kollision gebracht werden. In dem 6.3 km langen Tunnel werden die Protonen auf 820 GeV und die Elektronen auf 30 GeV beschleunigt. Abbildung 1.1 gibt einen Überblick über den HERA-Speicherring und die auf dem DESY-Gelände stehenden Vorbeschleuniger. In Tabelle 1.1 sind einige Sollparameter von HERA aufgelistet [Wol86].

|                                | Protonen   | Elektronen          |
|--------------------------------|--|---------------------|
| Injektionsenergie              | 40 GeV   | 14 GeV              |
| Endenergie                     | 820 GeV  | 30 GeV              |
| Strahlstrom                    | 163 mA   | 58 mA               |
| Anzahl der Bunche              | 220  | 220                 |
| Teilchen pro Bunch             | $2.1 \cdot 10^{13}$                                | $0.8 \cdot 10^{13}$ |
| Bunchlänge                     | 8.5 cm   | 0.83 cm             |
| Energieverlust pro Umlauf      | $1.4 \cdot 10^{-10}$ MeV                           | 127 MeV             |
| Strahlbreite                   | 0.293 mm   | 0.263 mm            |
| Strahlhöhe                     | 0.095 mm   | 0.069 mm            |
| Füllzeit                       | 20 min   | 15 min              |
| Luminosität $\mathcal{L}$      | $1.6 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ |                     |
| Kollisionsrate                 | 10.4 MHz   |                     |
| Kollisionswinkel               | 0  |                     |
| Schwerpunktsenergie $\sqrt{s}$ | 314 GeV  |                     |

Tabelle 1.1: HERA-Sollparameter

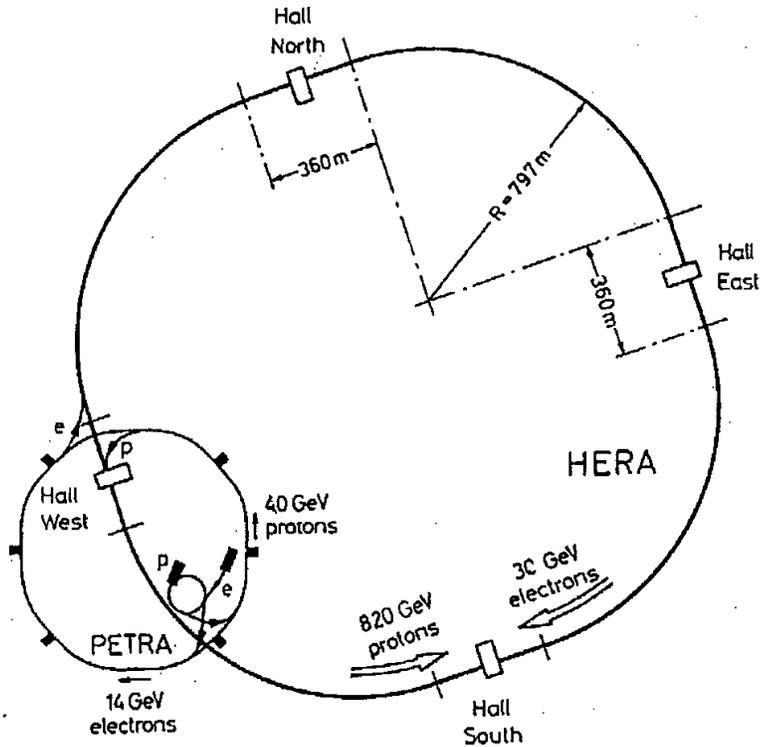


Abbildung 1.1: Der Speicherring HERA und die Vorbeschleuniger

## 1.2 Der H1-Detektor

In der Experimentierhalle Nord des HERA-Speicherrings ist der H1-Detektor aufgebaut. Wie man der Abbildung 1.2 entnehmen kann, ist der Detektor in Protonenrichtung wesentlich aufwendiger instrumentiert. Dieser Aufbau resultiert aus den unterschiedlichen Impulsen von Protonen und Elektronen, durch die typischerweise die Hälfte aller Teilchen eines Prozesses unter einem Polarwinkel  $\vartheta < 25^\circ$  in den Detektor gehen [H1C88]. Das Koordinatensystem, das im weiteren benutzt wird, ist in Abbildung 1.3 dargestellt.

Im folgenden sollen die wichtigsten Elemente des H1-Detektors näher beschrieben werden [Bra92,H1C86]. Die Zahlen in den Kästchen beziehen sich auf die Abbildung 1.2:

- **2,3 Die Spurkammern.** Direkt um das Strahlrohr herum befinden sich die zentralen Spurkammern und die Vorwärtsspurkammern. Sie ermöglichen eine präzise Vermessung der Spuren geladener Teilchen. Da die Spuren durch das Magnetfeld der supraleitenden Spule gekrümmt werden, können auch die Ladungsvorzeichen und Impulse der Teilchen bestimmt werden.

Die zentralen Spurkammern sind in innere (CJC1) und äußere Kammern (CJC2) unterteilt. Sie vermessen die Spuren in  $r$  und  $\varphi$ . Innerhalb der Spurkammern und

zwischen den inneren und äußeren Kammern sind  $z$ -Kammern (CIZ, COZ) installiert, die die  $z$ -Komponente der Spuren genau messen. Ebenso sind dort Proportionalkammern (CIP, COP) angebracht, die zu Triggerzwecken dienen.

Die Vorwärtsspurkammern bestehen aus drei Supermodulen. In jedem Supermodul befinden sich Lagen mit Driftkammern und eine Lage Proportionalkammern. Die Proportionalkammern dienen zu Triggerzwecken.

In Kapitel 3 werden die Proportionalkammern, und die Triggerinformationen eingehender beschrieben.

- **[4], [5] Das Kalorimeter.** Das Flüssig-Argon-Kalorimeter besteht aus einem elektromagnetischen und einem hadronischen Kalorimeter. Das elektromagnetische Kalorimeter, das als Absorbermaterial 2.4 mm dicke Bleiplatten besitzt, hat eine Dicke von  $\sim 20$  Strahlungslängen im Zentralbereich und bis zu  $\sim 30$  Strahlungslängen im Vorwärtsbereich. Dadurch verlieren praktisch alle Photonen und Elektronen ihre gesamte Energie. Die Energieauflösung des elektromagnetischen Teils beträgt

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{0.10\sqrt{GeV}}{\sqrt{E}} (\pm 0.01).$$

Das sich daran anschließende hadronische Kalorimeter besitzt als Absorbermaterial 19 mm dicke Edelstahlplatten. Die gesamte Dicke variiert zwischen 4.7 und 8 Absorptionslängen. Die Energieauflösung des hadronischen Teils beträgt

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{0.45\sqrt{GeV}}{\sqrt{E}} (\pm 0.02).$$

Ein Teil der Hadronen-Schauer kann aus dem Kalorimeter herauslecken. Die Rest-Energie wird dann im instrumentierten Eisen nachgewiesen.

- **[12] Das rückwärtige elektromagnetische Kalorimeter.** Das gestreute Elektron wird in den meisten  $ep$ -Ereignissen nur wenig ausgelenkt und fliegt so in den rückwärtigen Bereich des Detektors. Hier soll es vom rückwärtigen elektromagnetischen Kalorimeter nachgewiesen werden. Als Absorbermaterial dient hier wieder Blei, Nachweismedium ist Szintillatormaterial.
- **[6] Die supraleitende Spule.** Die supraleitende Magnetspule befindet sich außerhalb des Kalorimeters, damit die Teilchen vor dem Eintritt in das Kalorimeter möglichst wenig totes Material durchqueren müssen. Die Spule hat einen Durchmesser  $d = 6$  m und erzeugt ein Magnetfeld von 1.2 Tesla, das parallel zum Strahlrohr verläuft.
- **[10] Das instrumentierte Eisen.** Außerhalb der Magnetspule befindet sich das Eisenjoch mit der Eiseninstrumentierung. Es soll die Restenergie der aus dem Kalorimeter herausleckenden Hadronenschauer bestimmen (*Tail Catcher*) und Myonen nachweisen. Das instrumentierte Eisen wird in Kapitel 2 noch näher beschrieben.

- [11] **Das Vorwärts-Myonspektrometer.** Um hochenergetische Myonen, die in Vorwärtsrichtung fliegen, nachzuweisen, befindet sich vor dem Detektor der Myon-Toroid-Magnet mit Myon-Kammern vor und hinter dem Magneten.
- [13] **Das Vorwärts-Kalorimeter.** Das Vorwärts-Kalorimeter soll die Energie von Teilchen bestimmen, die unter kleinen Winkeln ( $1.5^\circ - 4^\circ$ ) das Strahlrohr verlassen.

### 1.3 Der H1-Trigger

Nicht alle vom Detektor genommenen Daten stammen von  $ep$ -Ereignissen. Die meisten Daten rühren von Wechselwirkungen des Protonstrahls mit dem Strahlrohr oder mit dem Restgas her. Wegen der hohen Kollisionsrate bei HERA von  $10.4 \text{ MHz}$  ist es auch nicht möglich, alle Ereignisse endgültig auf Band zu speichern. Deshalb müssen durch den H1-Trigger die physikalisch interessanten Ereignisse von den übrigen Daten getrennt werden. Der Trigger soll möglichst schnell und mit wenig Totzeit ( $< 10\%$ ) die Untergrundereignisse unterdrücken und richtige Ereignisse erkennen.

Der H1-Trigger arbeitet in 4 Stufen. Ein Trigger der Stufe  $n$ , abgekürzt  $L_n$ , entscheidet zwischen zwei Alternativen: Verwerfen (*Reject*) oder Behalten (*Keep*). In den einzelnen Triggerstufen wird z.B. nach Teilchenspuren gesucht, die Lage des Wechselwirkungspunktes bestimmt oder die im Kalorimeter deponierte Energie mit Schwellwerten verglichen. Jeder Triggerstufe steht für die Berechnungen mehr Zeit zur Verfügung als der vorherigen Stufe. Bei einem *Keep* einer Triggerstufe wird die Entscheidung zum Trigger der nächst höheren Stufe  $L_{n+1}$  weitergegeben.

Die einzelnen Triggerstufen werden im folgenden kurz beschrieben [Eil90]:

- **L1 (Hardware)** Die Signale der einzelnen Detektorelemente stehen nicht immer sofort zur Verfügung, oder sie sind länger als eine HERA-Zeiteinheit ( $b.c.$ <sup>1</sup>). Daher wird in dieser Stufe ein Pipeline-Verfahren angewandt, bei dem die Signale in einer Pipeline zwischengespeichert werden. Durch dieses Verfahren arbeitet der L1-Trigger ohne Totzeit. Nach  $23.5 \text{ b.c.}$  stehen die Daten am Ende der Pipeline. Wenn bis dahin keine Entscheidung gefallen ist, werden die Daten in der Pipeline gelöscht. Bei einem L1-Keep wird die Pipeline angehalten, und es beginnt eine Totzeit.
- **L2 (Hardware mit Totzeit)** Die Entscheidung fällt nach etwa  $18 \mu s$ . Durch diese lange Zeit können die Daten teilweise seriell verarbeitet werden (statt parallel) und die Anforderungen an die Hardware sind wesentlich geringer. Zusammen mit der Zeit, die für das Löschen der Pipelines bei einem Neustart des Triggers benötigt wird ( $32 \text{ b.c.}$ ), dauert die Totzeit, die durch L2 verursacht wird  $220 \text{ b.c.}$ , also genau die Zeit, die ein Teilchenpaket braucht, um einmal den Speicherring zu umrunden. L2-Reject leitet den Neustart ein, der die Totzeit beendet, L2-Keep verlängert die Totzeit.

---

<sup>1</sup>Vom englischen *bunch crossing*

- **L3** (Software) Diese Triggerstufe fällt eine Entscheidung in einigen 100  $\mu s$ . Im Gegensatz zu L2, wo eine fest verdrahtete Logik benutzt wird, arbeitet L3 mit programmierbaren Prozessoren [Bar88a,Bar88b].
- **L4** (Software) In einem Prozessorverbund, der sogenannten *Filterfarm*, werden Berechnungen mit den gesamten Daten unabhängig von den anderen Triggerstufen gemacht. L4-Keep führt zu einem endgültigen Speichern der Daten auf Band.

## 1.4 Das Simulationsprogramm H1SIM

Das Programm H1SIM [Mey91] simuliert den H1-Detektor. Die wesentlichen Detektorsignale, die bei einem Ereignis auftreten würden, werden berechnet und für die späteren Untersuchungen gespeichert.

Das Programm liest die Vierervektoren von generierten Ereignissen aus einer Datei und berechnet dann in drei Stufen die Detektorantwort. Diese drei Stufen sind im einzelnen:

1. Spurverfolgung bzw. Simulation der Schauerentwicklung
2. Digitalisierung
3. Triggersimulation

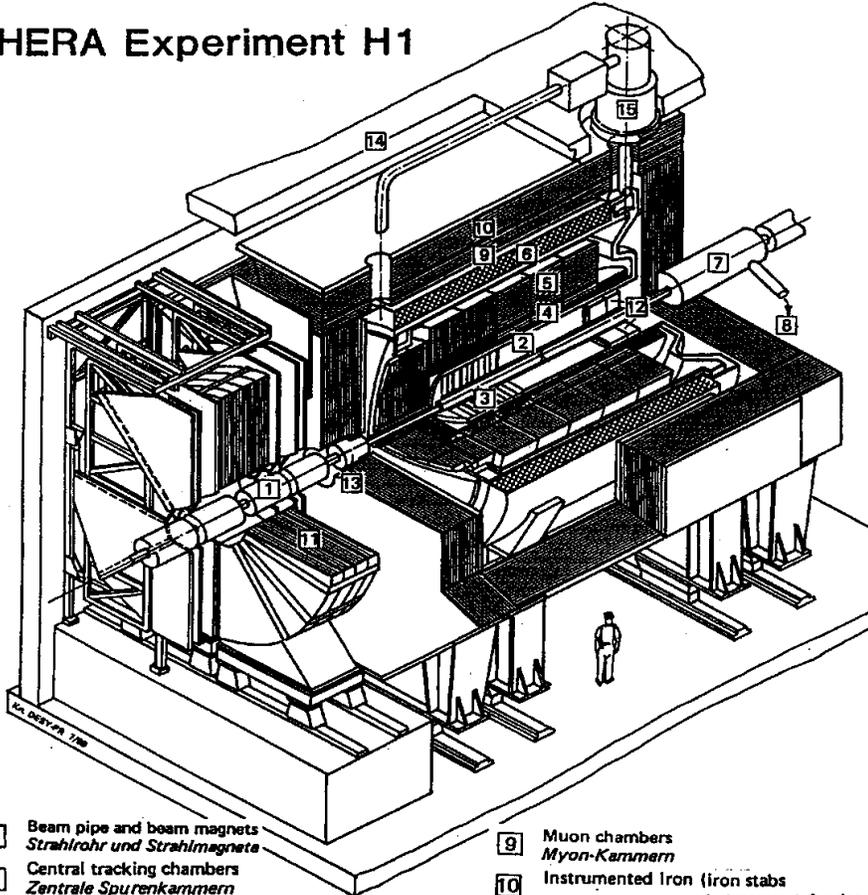
Vor dem ersten Programmdurchlauf werden die Materialkonstanten und die Geometrie des Detektors definiert.

Die Spurverfolgung / Schauerentwicklung beruht auf dem Programm GEANT. Als Hauptteil der Simulation benötigt GEANT die meiste CPU-Zeit. Aus den Vierervektoren werden sogenannte *Hit-Banks* produziert, die die Koordinaten der Ein- und Austrittspunkte der Teilchentrajektorien für die sensitiven Detektorteile und die Energieverluste für die Kalorimeterteile enthalten.

Der Digitalisierungsschritt setzt die *Hit-Banks* in *Digi-Banks* um. Die *Digi-Banks* enthalten die Signale, die mit dem Detektor gemessen würden.

Zum Schluß werden im Triggerschritt aus den *Digi-Banks* die Triggerantworten berechnet und in *Trigger-Banks* abgelegt. Die im weiteren Verlauf dieser Arbeit vor allem benutzten Triggerinformationen sind in den Banken ITWO (für das instrumentierte Eisen) und CTBV/FTBV (für die Proportionalkammern) gespeichert.

# HERA Experiment H1



- |   |   |    |   |
|---|---|----|---|
| 1 | Beam pipe and beam magnets<br><i>Strahlrohr und Strahlmagnete</i>   | 9  | Muon chambers<br><i>Myon-Kammern</i>  |
| 2 | Central tracking chambers<br><i>Zentrale Spurenkammern</i>  | 10 | Instrumented Iron (iron stabs<br>+ streamer tube detectors)<br><i>Instrumentiertes Eisen (Eisenplatten +<br/>Streamerröhren-Detektoren)</i> |
| 3 | Forward tracking chambers and Transition radiators<br><i>Vorwärtsspurenkammern und Übergangsstrahlungsmodul</i> | 11 | Muon toroid magnet<br><i>Myon-Toroid-Magnet</i>   |
| 4 | Electromagnetic Calorimeter (lead)<br><i>Elektromagnetisches Kalorimeter (Blei)</i>                             | 12 | Warm electromagnetic calorimeter<br><i>warmes elektromagnetisches Kalorimeter</i>   |
| 5 | Hadronic Calorimeter (stainless steel)<br><i>Hadronisches Kalorimeter (Edelstahl)</i>                           | 13 | Plug calorimeter (Cu, Si)<br><i>Vorwärts-Kalorimeter</i>  |
| 6 | Superconducting coil (1.2 T)<br><i>Supraleitende Spule (1,2 T)</i>  | 14 | Concrete shielding<br><i>Betonabschirmung</i>   |
| 7 | Compensating magnet<br><i>Kompensationsmagnet</i>   | 15 | Liquid Argon cryostat<br><i>Flüssig Argon Kryostat</i>  |
| 8 | Helium cryogenics<br><i>Helium Kälteanlage</i>  |    |   |
- Liquid Argon  
Flüssig Argon

Abbildung 1.2: Schematisch Darstellung des H1-Detektors

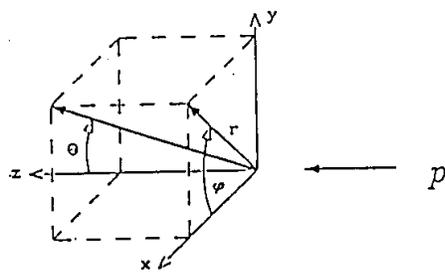


Abbildung 1.3: Das  $H1$ -Koordinatensystem

# Kapitel 2

## Das instrumentierte Eisen

Das Eisenjoch, das zur Rückführung des Magnetfeldes der supraleitenden Spule dient (siehe Abb. 1.2), ist in vier Unterdetektoren gegliedert (Abb. 2.2). Diese sind wiederum in je 16 Module unterteilt (Abb. 2.3). Das Eisenjoch besteht aus 10 je 7.5 cm dicken Eisenschichten, zwischen denen sich Streamerrohrkammern als Detektoren befinden. Abbildung 2.4 zeigt die Schichtfolge des instrumentierten Eisens.

Das instrumentierte Eisen dient sowohl der Bestimmung der Restenergie der nicht vollständig im Kalorimeter absorbierten Hadronenschauer, als auch der Identifizierung von Myonen. Myonen werden als minimalionisierende Teilchen nicht im Kalorimeter absorbiert, sondern sie verlieren nur einen Teil ihrer Energie und durchqueren den gesamten Detektor.

Bei senkrechtem Durchgang ( $\vartheta = 90^\circ$ ) durch das Kalorimeter durchquert ein Myon 28.3 cm Blei, 43 cm flüssiges Argon und 48 cm Edelstahl [H1C87]. Bei einem Energieverlust  $dE/dx \approx 1 \text{ MeV g}^{-1} \text{ cm}^2$  (siehe Abb. 2.1), entspricht das einem Gesamtenergieverlust  $\Delta E \approx 1 \text{ GeV}$ . Für das Durchdringen der Eisenschichten des Jochs kommt noch ein Energieverlust von 0.08 GeV für jede Schicht hinzu. Um in die Lage 12 zu gelangen, muß ein Myon 9 Eisenschichten durchqueren, das bedeutet einen gesamten Energieverlust im Kalorimeter und im Eisen von 1.7 GeV. Für einen Winkel  $\vartheta \neq 90^\circ$  ist der Energieverlust, abhängig vom Winkel, noch höher.

### 2.1 Funktionsweise der Streamerrohre

Die Streamerrohrkammern bestehen aus jeweils zwei mal acht parallelen Streamerrohren, die in einem Plastikprofil zusammengefaßt sind. Im Inneren der Rohre ist ein dünner ( $\sim 100 \mu\text{m}$ ) Draht gespannt. Die graphitbeschichteten Wände liegen auf negativem Hochspannungspotential ( $\sim 4500 \text{ V}$ ). Der Draht dagegen ist über einen Widerstand mit Masse verbunden.

Ein geladenes Teilchen, das die gasgefüllten Rohre durchquert, erzeugt eine Ladungswolke, *Streamer* genannt, die sich auf den Draht zubewegt und zu einem Signal führt. Durch die hochohmige Graphitbeschichtung der Wände wird auch ein elektrisches Feld auf der

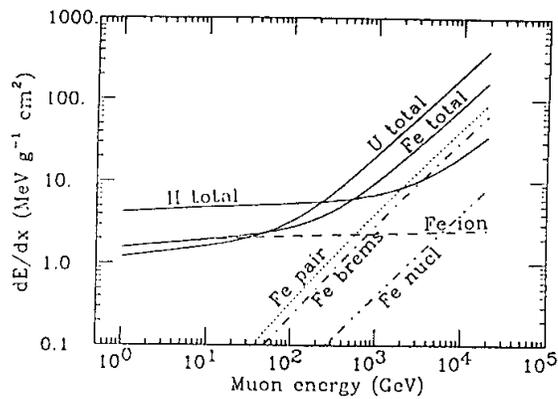


Abbildung 2.1: Durchschnittlicher Energieverlust von Myonen in Wasserstoff, Eisen und Uran als Funktion der Myonenergie.

## Subdetector Numbers

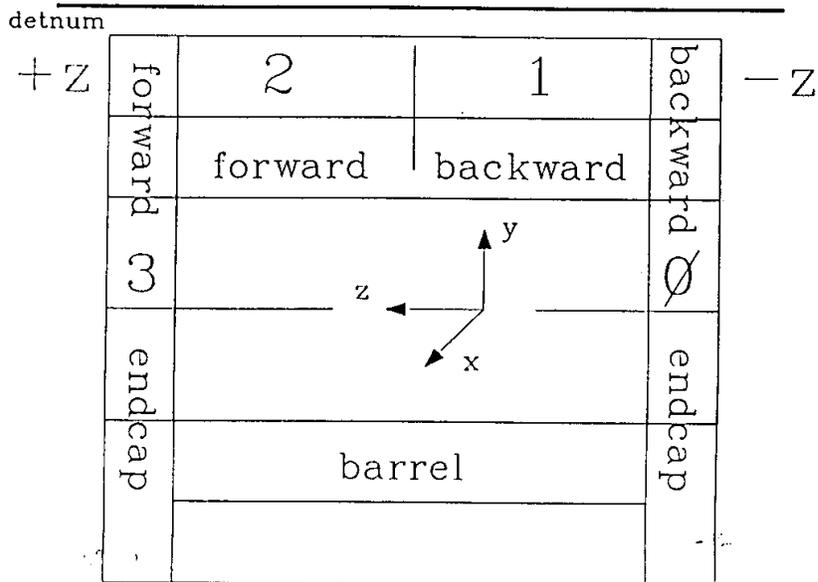


Abbildung 2.2: Die Unterteilung des Eisenjochs in Subdetektoren.

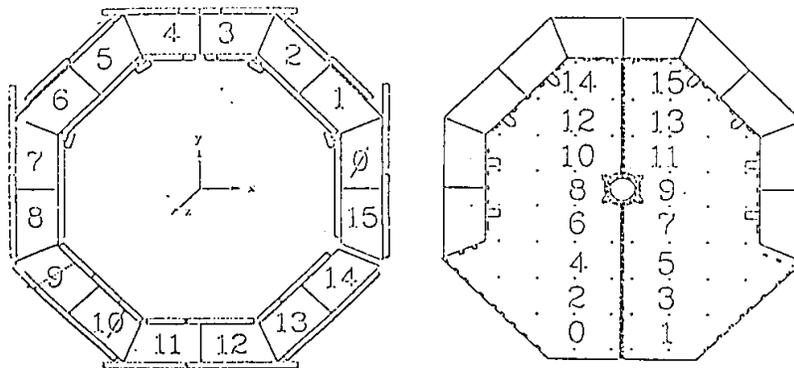


Abbildung 2.3: Die Unterteilung der Subdetektoren in Module. Das linke Bild zeigt den Zentralbereich mit Modulnummern. Rechts sind die Modulnummern der Endkappen dargestellt.

Außenfläche des Rohrs influenziert. Es läßt sich am Ende der dort aufgeklebten Kupferstreifen (*Strips*) abgreifen.

Die Draht- und Strip-Signale werden digitalisiert und gespeichert.

Abbildung 2.5 zeigt einen Schnitt durch ein Doppelprofil der Streamerrohre.

## 2.2 Der Eisentrigger

Zum Triggern werden die 5 Drahtlagen Nummer 3, 4, 5, 8 und 12 benutzt. Es wird jeweils das "Oder" der Drähte jeder Triggerlage in jedem Modul gebildet. Die Nummern der Module werden zusammen mit den angesprochenen Triggerlagen in der Triggerbank ITWO (*Iron Trigger Wired Or*) gespeichert. Aus dieser Information können Bedingungen für einen Trigger gebildet werden. Zum Beispiel kann man verlangen, daß in einem Modul mindestens 3 der 5 Triggerlagen angesprochen haben [Tut91a,Tut91b].

### 2.2.1 Effizienz einzelner Triggerlagen

Das Simulationsprogramm H1SIM geht von einer Effizienz des sensitiven Volumens der Streamerrohre von 100 % aus <sup>1</sup>, so daß die gesamte Effizienz des Eisentriggers nur durch die geometrische Effizienz (nicht instrumentierte Bereiche und Kammerwände) bestimmt wird.

<sup>1</sup>Ab der Version H1SIM 2.08 wird auch die Effizienz des sensitiven Kammervolumens berücksichtigt. Außerdem kommt es vor, daß das Triggersignal nicht in der richtigen Zeit vorliegt, oder länger als ein b.c. ist. In diesen Fällen wird der Eisentrigger nicht ansprechen. Der Effekt wird bei der Simulation nicht berücksichtigt.[Tut]



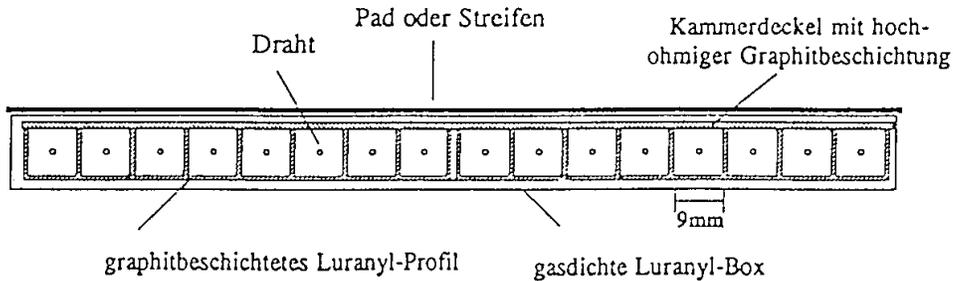


Abbildung 2.5: Querschnitt durch ein Doppelprofil der Streamerrohre.

Um die geometrische Effizienz der einzelnen Triggerlagen zu bestimmen, wurden mit dem Simulationsprogramm H1SIM Myonen im Winkelbereich  $5^\circ \leq \vartheta \leq 175^\circ$  und  $0^\circ \leq \varphi < 360^\circ$  simuliert.

Abbildung 2.6 zeigt die geometrische Effizienz der einzelnen Triggerlagen in Abhängigkeit vom Polarwinkel  $\vartheta$ . Die Myonen wurden mit einem Impuls von  $p_\mu = 5 \text{ GeV}/c$  simuliert. Die Effizienz der einzelnen Triggerlagen geht dort deutlich zurück, wo Löcher in der Eiseninstrumentierung sind, beziehungsweise dort, wo an den Übergängen von einem Unterdetektor zum nächsten nicht der gesamte Bereich in  $\vartheta$  abgedeckt wird (Abb. 2.7). Besonders bei den Lagen 8 und 12 nimmt die Effizienz an den Übergängen vom Zentralbereich zu den Endkappen ab. Das liegt daran, daß sich die inneren Triggerlagen (Lagen 3, 4 und 5) der verschiedenen Eisenunterdetektoren überlappen, jedoch bei den äußeren Lagen (8 und 12) ein Bereich in  $\vartheta$  existiert, der nicht abgedeckt wird.

Abbildung 2.7 zeigt die sensitiven Flächen der Eiseninstrumentierung am Beispiel der Lage 12. Man erkennt deutlich die Lücken zwischen den Modulen und die Löcher im Zentralbereich für den Flüssig-Argon-Kryostaten.

### 2.2.2 Der Eisentrigger mit 3 aus 5 Lagen

Als nächster Schritt wurden wieder einzelne Myonen mit einem Impuls  $p_\mu = 5 \text{ GeV}/c$  im Bereich  $5^\circ \leq \vartheta \leq 175^\circ$  und  $0^\circ \leq \varphi < 360^\circ$  simuliert. Abbildung 2.8 zeigt die Effizienz des Eisentriggers gegen die Anzahl der verlangten Lagen im Eisen. Die Effizienz des Triggers nimmt mit der Anzahl der verlangten Lagen ab. Bei 3 Lagen im Eisen werden noch 74% der Myonen getriggert, Dagegen sind es bei 4 verlangten Lagen nur noch 54%. Für die folgenden Untersuchungen wurden immer 3 der 5 Triggerlagen verlangt.

Es wurde geprüft, wo der Eisentrigger bei mindestens 3 aus 5 Triggerlagen ineffizient ist. In Abbildung 2.9 ist das Verhältnis der nicht getriggerten Myonen zu den simulierten gegen  $\vartheta$  und  $\varphi$  aufgetragen. Man sieht, daß der Eisentrigger an den Übergängen zwischen den Unterdetektoren Lücken hat. Bei  $\varphi \approx 90^\circ$  und  $\vartheta \approx 40^\circ$  bzw.  $\vartheta \approx 120^\circ$  erkennt man die Löcher für den Kryostaten. Bei  $\varphi \approx 270^\circ$  ist im Zentralbereich ( $40^\circ < \vartheta < 120^\circ$ ) ein

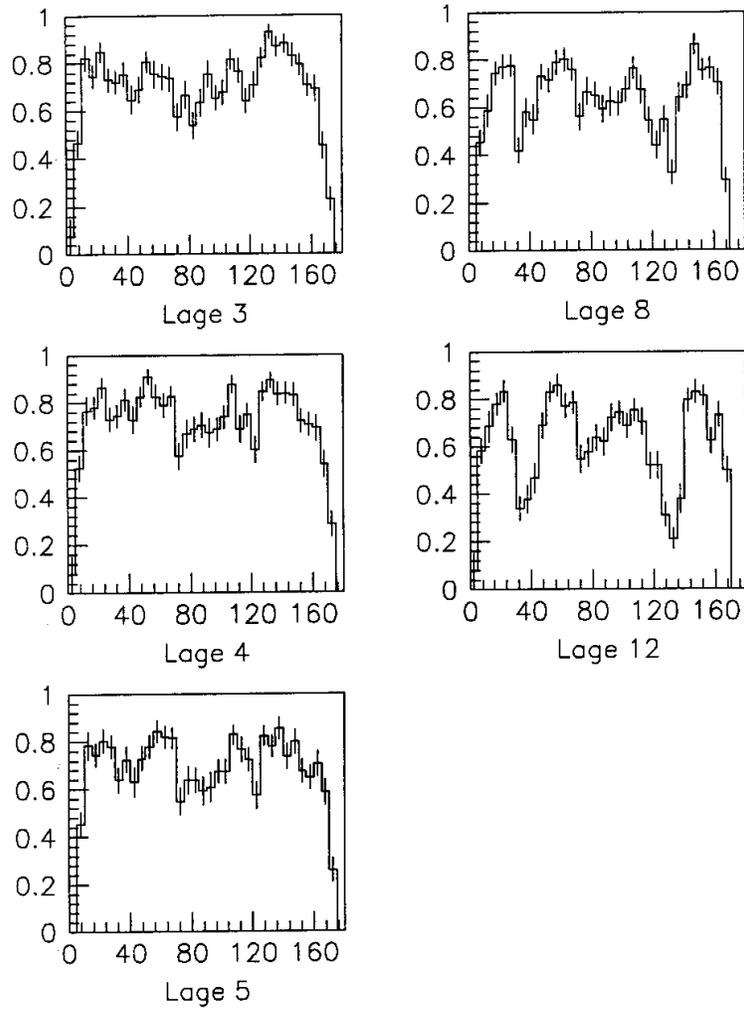


Abbildung 2.6: Die Effizienz der Triggerlagen aufgetragen gegen den Polarwinkel  $\vartheta$  des Myons. Simuliert wurden einzelne Myonen mit einem Impuls  $p_\mu = 5 \text{ GeV}/c$ .

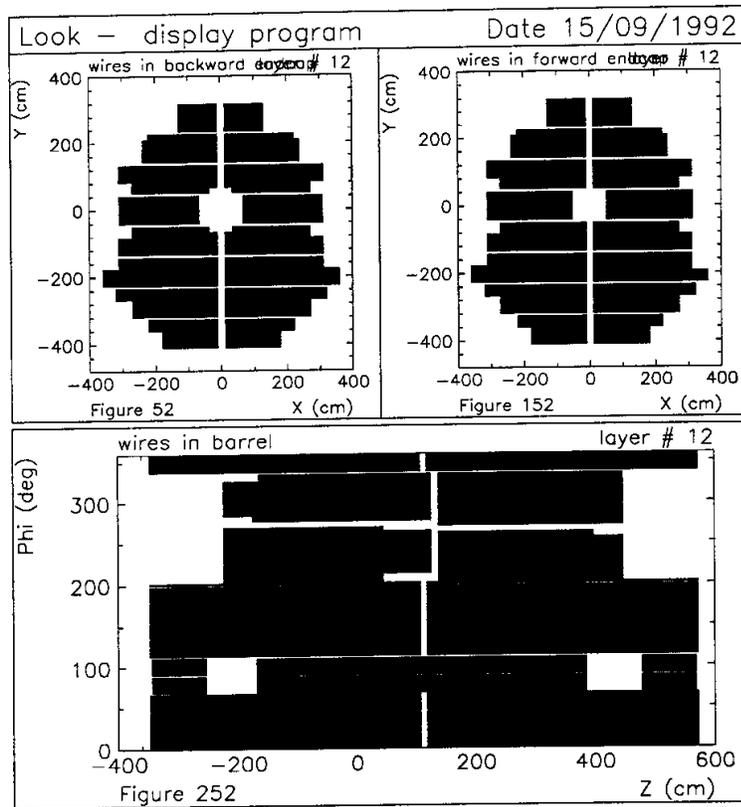


Abbildung 2.7: Überdeckung der Lage 12 mit sensitiver Fläche. Die beiden oberen Bilder zeigen die sensitiven Flächen der Endkappen als  $x$ - $y$ -Projektion, das untere die sensitiven Flächen des Zentralbereichs als  $z$ - $\varphi$ -Projektion.

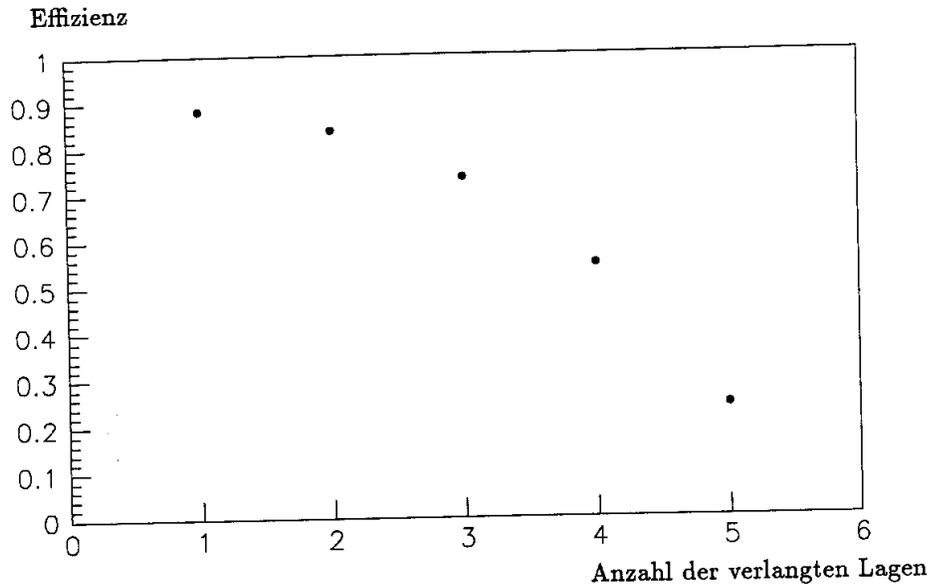


Abbildung 2.8: Effizienz des Eisentriggers aufgetragen gegen die Anzahl der verlangten Lagen in einem Eisenmodul.

durchgehender Kabelschlitz. Ein Vergleich mit dem Bild der sensitiven Flächen zeigt eine gute Übereinstimmung der beiden Bilder. Dabei ist zu beachten, daß die Protonenrichtung in Abbildung 2.7 nach rechts zeigt, während sie in Abbildung 2.9 nach links zeigt.

Abbildung 2.10 zeigt die Effizienz des Triggers in Abhängigkeit vom Winkel  $\vartheta$ , wenn in einem Modul mindestens drei der fünf Triggerlagen angesprochen haben müssen, um den Trigger auszulösen. Auch hier sieht man den Rückgang der Effizienz an den Übergängen zwischen den Unterdetektoren bei  $\vartheta \approx 32^\circ$ ,  $73^\circ$  und  $130^\circ$ .

Abbildung 2.11 zeigt den Übergang von der vorderen Endkappe zum vorderen Zentralbereich für Myonen mit  $p_\mu = 5 \text{ GeV}/c$  und  $110^\circ \leq \varphi_\mu \leq 130^\circ$ . Man sieht, daß die Effizienz des Zentralbereichs zwischen  $34^\circ$  und  $44^\circ$  bei etwa 0.5 liegt.

In Abbildung 2.12 ist der Übergang zwischen zwei Modulen im Zentralbereich genauer gezeigt. Die mit einem Impuls von  $5 \text{ GeV}/c$  im Winkelbereich  $95^\circ \leq \vartheta \leq 100^\circ$  und  $34^\circ \leq \varphi \leq 40^\circ$  simulierten  $\mu^-$  treffen in etwa auf den Übergang zwischen Modul 1 und 2 im hinteren Zentralbereich. Aufgetragen sind in der Abbildung die Effizienzen der beiden einzelnen Module, sowie die Effizienz der Summe gegen den simulierten Winkel  $\varphi$ . Wie man sieht, geht die Effizienz des Eisentriggers hier nur sehr wenig zurück, da sich die Ansprechbereiche der Module durch die Vielfachstreuung der Myonen deutlich überlappen.

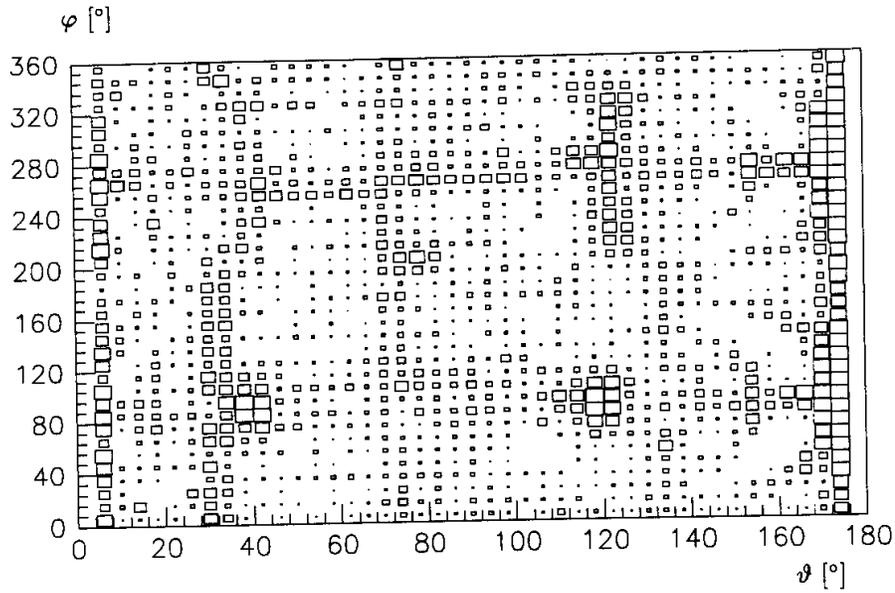


Abbildung 2.9: Die Ineffizienz der Triggerlagen gegen  $\vartheta$  und  $\varphi$ . Eingetragen ist das Verhältnis der nicht getriggerten Myonen zu den simulierten. Die Größe der Rechtecke gibt den Anteil der nicht getriggerten Myonen an, so daß große Rechtecke ineffiziente Bereiche bedeuten. Es wurden mind. 3 Triggerlagen verlangt. Simuliert wurden einzelne Myonen mit einem Impuls  $p_\mu = 5 \text{ GeV}/c$ .

Genauere Untersuchungen zur Vielfachsteuerung und zur Ablenkung der Myonen durch das Magnetfeld sind im Abschnitt 4.1.2 zu finden.

Abbildung 2.13 zeigt die Effizienz des Eisentriggers in Abhängigkeit vom Myonenimpuls  $p_\mu$  gemittelt über  $5^\circ \leq \vartheta \leq 175^\circ$ . Sie beträgt oberhalb eines Myonenimpulses von  $p_\mu \gtrsim 3 \text{ GeV}/c$  etwa 75 %.

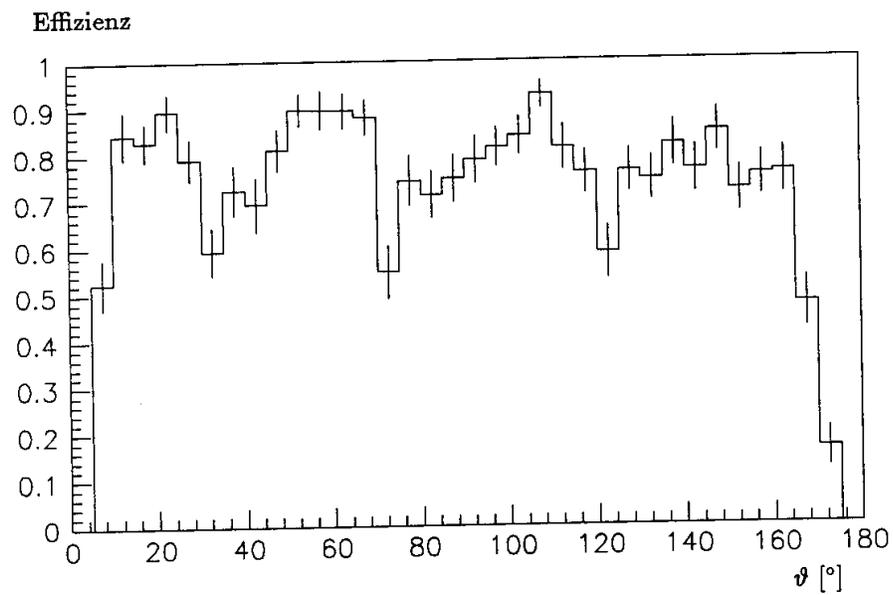


Abbildung 2.10: Effizienz des Eisentriggers gegen  $\vartheta$  für einzelne Myonen mit  $p_\mu = 5 \text{ GeV}/c$ . Es wurde verlangt, daß mindestens drei der fünf Triggerlagen angesprochen haben.

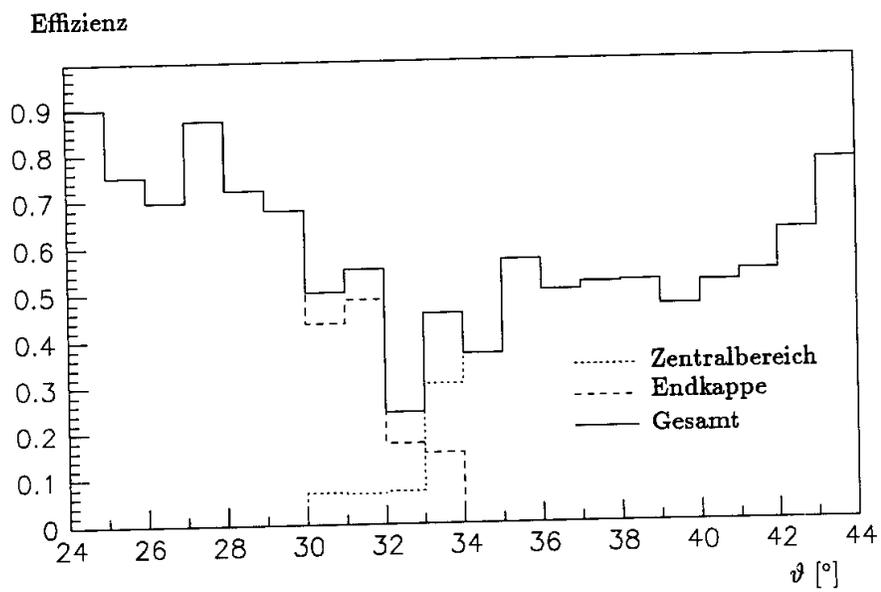


Abbildung 2.11: Der Übergang zwischen vorderer Endkappe und Zentralbereich. Aufgetragen ist die Effizienz der Unterdetektoren gegen den simulierten Winkel  $\vartheta$ .

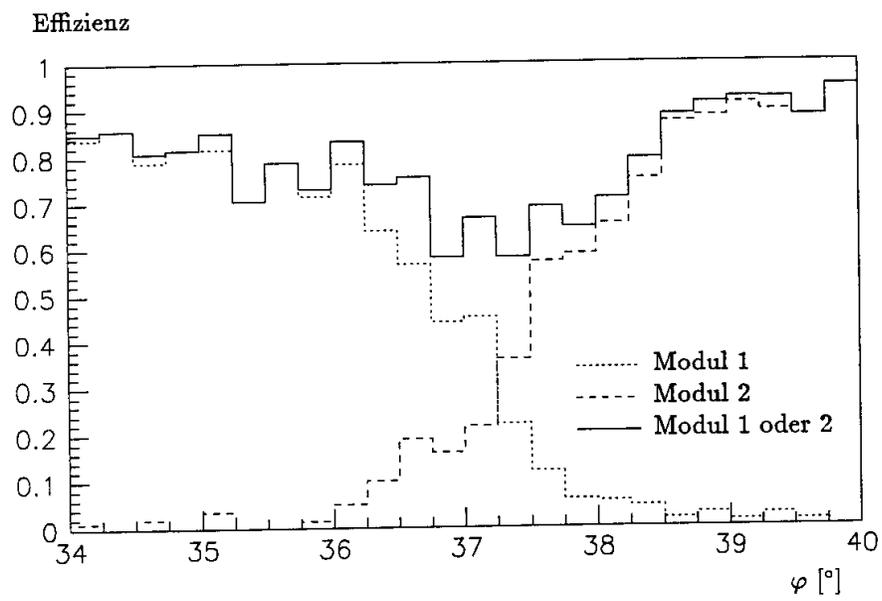


Abbildung 2.12: Der Übergang zwischen zwei Modulen im Zentralbereich. Aufgetragen ist die Effizienz der Module 1 und 2 im hinteren Zentralbereich gegen den simulierten Winkel  $\varphi$  am Übergang.

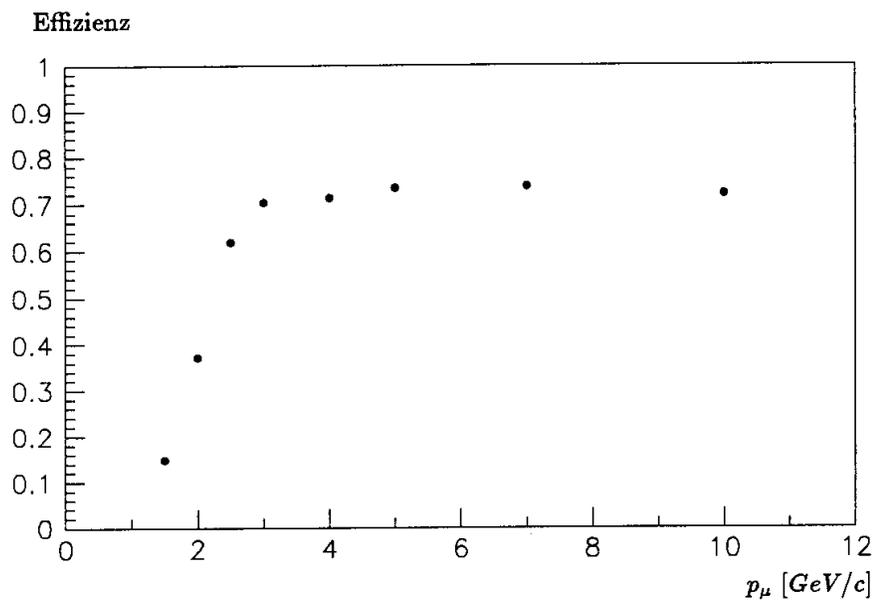


Abbildung 2.13: Effizienz des Eisentriggers aufgetragen gegen  $p_\mu$ . Es wurde die Effizienz des Triggers über  $5^\circ < \vartheta < 175^\circ$  gemittelt. Es mußten mindestens drei der fünf Triggerlagen angesprochen haben.

# Kapitel 3

## Die Proportionalkammern

Teilchen, die die Proportionalkammern (MWPC = **M**ulti **W**ired **P**roportional **C**hambers) durchqueren, lösen an den Kathoden-pads Signale aus. Dadurch läßt sich die Richtung einer Spur und deren Schnittpunkt mit der  $z$ -Achse grob bestimmen. Für wahre Ereignisse werden sich die Schnittpunkte aller Spuren mit der Strahlachse in der Nähe des Ereignis-Vertex häufen. Diese Tatsache wird als  $z$ -Vertex-Trigger auf der Triggerstufe L1 genutzt.

### 3.1 Aufbau der Proportionalkammern

Die zentralen Proportionalkammern bestehen aus zwei zylindrischen Doppellagen, die auf einer Länge von  $2190\text{ mm}$  um den Wechselwirkungspunkt des Strahlrohrs umgeben (Abb. 3.1). Die inneren Proportionalkammern (*CIP*), die einen Radius von  $157\text{ mm}$  bzw.  $166\text{ mm}$  haben, sind 60-fach in  $z$  ( $\Delta z = 36.5\text{ mm}$ ) und 8-fach in  $\varphi$  unterteilt. Da die beiden Lagen jedoch um  $22.5^\circ$  gegeneinander verdreht sind, ergibt sich eine effektive Einteilung in 16  $\varphi$ -Segmente. Die äußeren zentralen Proportionalkammern (*COP*) sind dagegen 19-fach in  $z$  und 16-fach in  $\varphi$  unterteilt.

In jedem der drei Supermodule der Vorwärts-Spurkammern befinden sich zwei Lagen Proportionalkammern, von denen eine 20-fach, die andere 21-fach im Radius  $\rho$  unterteilt ist. Beide sind in 8  $\varphi$ -Sektoren gegliedert. Wie die zentralen Proportionalkammern, sind auch in jedem Supermodul die beiden Lagen Proportionalkammern um  $22.5^\circ$  gegeneinander verdreht, so daß sich auch hier eine effektive Unterteilung in 16  $\varphi$ -Sektoren ergibt (Abb. 3.2).

Tabelle 3.1 gibt einen Überblick über die Unterteilung der Proportionalkammern.

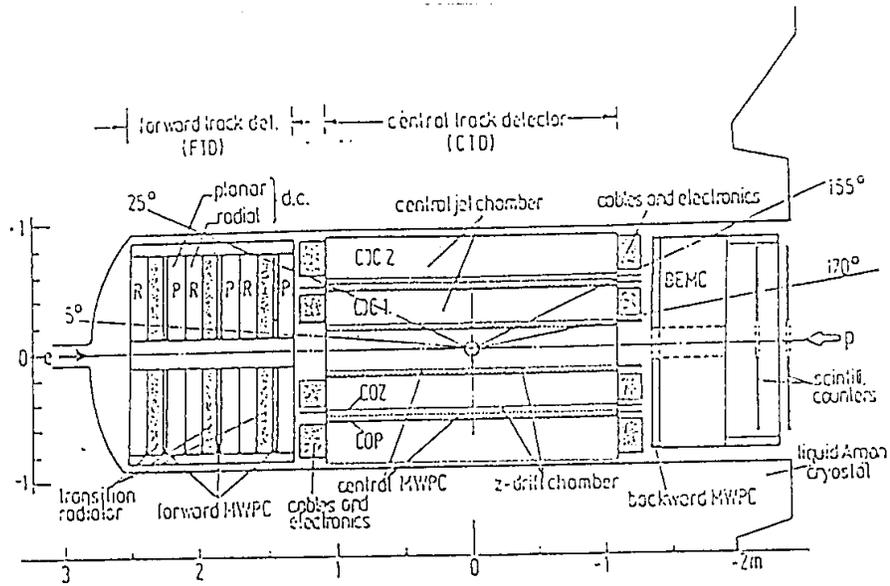


Abbildung 3.1: Die zentralen Spurkammern im Längsschnitt.

Geom. Progr. of Radii=1.0382 41 Log. Pads ID Ch 1 Gr 1

Geom. Progr. of Radii=1.0382 41 Log. Pads ID Ch 2 Gr 1

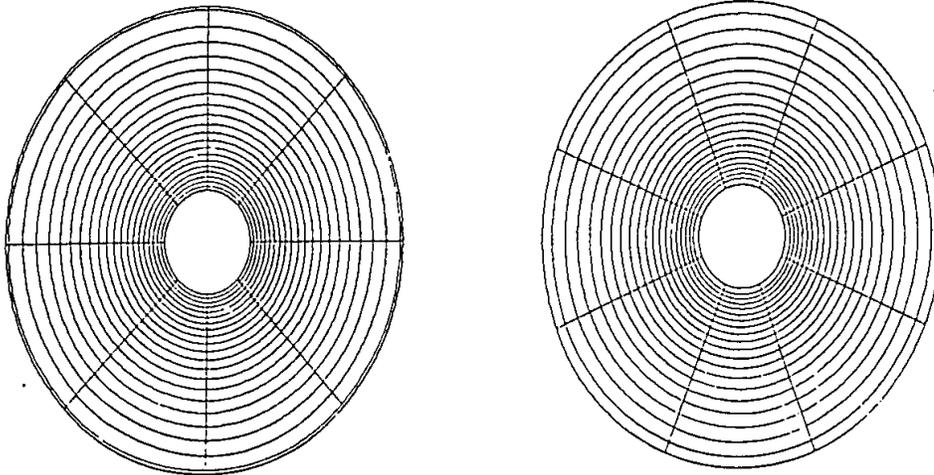


Abbildung 3.2: Die Pad-Struktur der vorderen Proportionalkammern. Die beiden Lagen sind in je 8  $\varphi$ -Sektoren unterteilt, die um  $2\pi/16$  gegeneinander verdreht sind. Sie werden über 20 bzw. 21 Pads in  $\vartheta$  ausgelesen.

|                                     | Lagen | $\phi$ -Sektoren | effektive<br>$\phi$ -Sektoren | $\rho/z$ -<br>Sektoren |
|-------------------------------------|-------|------------------|-------------------------------|------------------------|
| Vorwärts- MWPC                      | 6     | 8                | 16                            | 20,21                  |
| innere zentrale MWPC ( <i>CIP</i> ) | 2     | 8                | 16                            | 60                     |
| äußere zentrale MWPC ( <i>COP</i> ) | 2     | 16               | 16                            | 19                     |

Tabelle 3.1: Unterteilung der Proportionalkammern

## 3.2 Die Triggerinformation der Proportionalkammern

Informationen über Koinzidenzen (*Rays*) von Proportionalkammerpads werden in den Triggerbanken CTBV (*Central Trigger Big Tower Validation*) und FTBV (*Forward Trigger Big Tower Validation*) zur Verfügung gestellt.

Die CTBV-Bank enthält Informationen über Koinzidenzen von Pads der zentralen Proportionalkammern und der Proportionalkammern des ersten Supermoduls der Vorwärts-Spurkammern. Die Spuren durchqueren vier Lagen Proportionalkammern: zwei Lagen in CIP und zwei in COP bzw. zwei in CIP und zwei im ersten Supermodul der Vorwärtsspurkammern. Um eine Spur zu definieren, muß dabei in jeder Lage ein Pad gefeuert haben.

Die FTBV-Bank enthält entsprechende Informationen über Koinzidenzen von Pads der drei Supermodule der Vorwärts-Spurkammern. Hier können 6 Pads getroffen werden — zwei in jedem Supermodul. Von diesen sechs werden mindestens drei Pads in zwei Supermodulen für eine Spur verlangt.

Nicht die von den Proportionalkammern gefundenen Spuren (*Rays*) werden als Triggerinformationen in den Banken CTBV und FTBV gespeichert, sondern entsprechende "Straßen" (*Big Rays*), die der Unterteilung des Kalorimeters in *Big Tower* entsprechen.<sup>1</sup> Abbildung 3.3 und Tabelle 3.2 geben eine Übersicht über die *Big Tower*-Segmentierung des Kalorimeters.

Für die " $\vartheta$ -Straßen"<sup>2</sup>, die in mehr als 16  $\varphi$ -Sektoren unterteilt sind, — das gilt für die  $\vartheta$ -Straßen 4 und 5 — wird für jeweils zwei benachbarte Sektoren die gleiche Information benutzt, so daß für den 0. und 1., den 2. und 3. ... und den 30. und 31. Sektor jeweils auch die gleiche Information (Spur oder keine Spur) gespeichert wird.

Da die *Rays* der Proportionalkammern wegen der Größe der Pads ungenau bestimmt sind und daher oft in mehrere *Big Tower* gelangen können, sprechen für die einzelnen Spuren meistens mehrere *Big Rays* an. In Abbildung 3.4 ist dies an den Spuren der beiden Myonen aus einem  $J/\psi$ -Ereignis zu sehen.

<sup>1</sup>Die Triggerinformation in den Banken CTBV und FTBV soll in Koinzidenz mit den *Big Towers* genutzt werden, signifikantere Triggerinformationen zu erhalten.

<sup>2</sup>Mit  $\vartheta$ -Straßen sind die Straßen gemeint, die in die gleiche Richtung  $\vartheta$  gehen

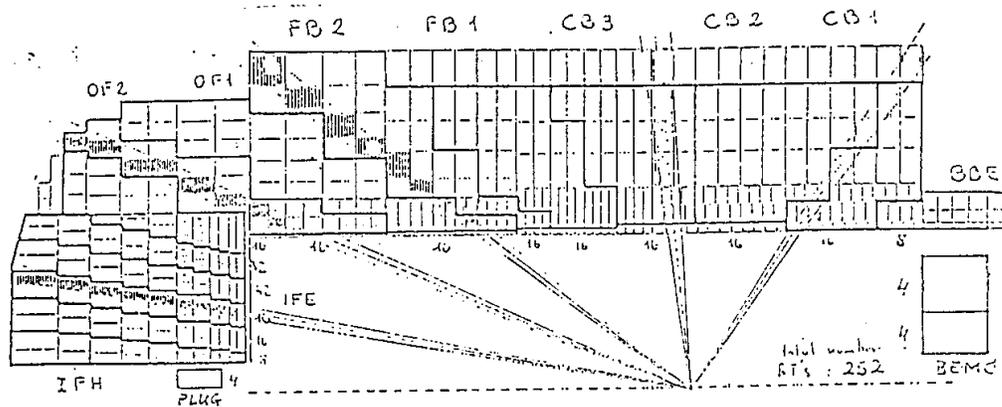


Abbildung 3.3: Unterteilung des Kalorimeters in 'Big Tower'.

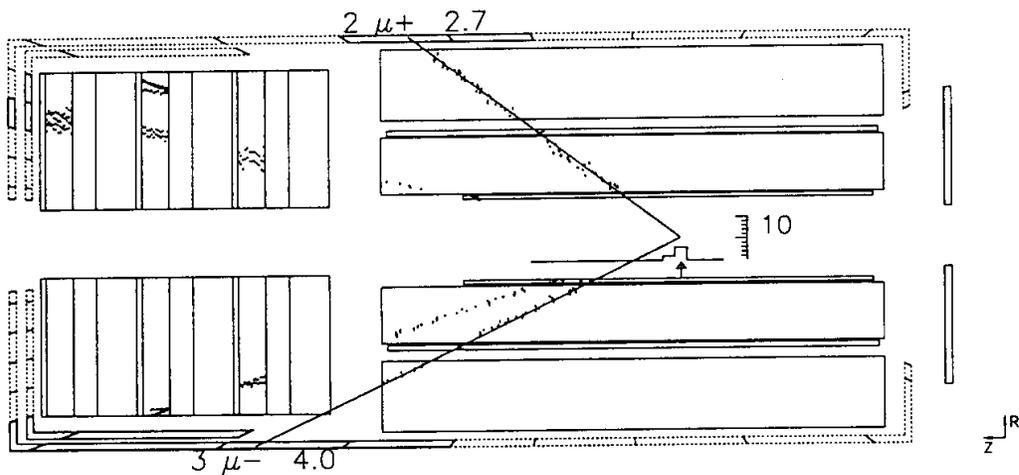


Abbildung 3.4:  $J/\psi$ -Ereignis. In diesem  $J/\psi$ -Ereignis wurde ein  $z$ -Vertex gefunden. Er ist in dem Histogramm durch einen Pfeil gekennzeichnet. Man sieht die Straßen des Proportionalkammertriggers außen um die Spurkammern herum eingezeichnet. Die durchgezeichneten Flächen markieren Straßen, die getriggert haben. Für jedes der beiden Myonen haben mehrere Straßen angesprochen. Die Pads der Proportionalkammern sind ebenfalls eingetragen.

| $\vartheta$ -Straße | Segmente in $\varphi$ |
|---------------------|-----------------------|
| 1                   | 8                     |
| 2                   | 16                    |
| 3                   | 16                    |
| 4                   | 32                    |
| 5                   | 32                    |
| 6                   | 16                    |
| 7                   | 16                    |
| 8                   | 16                    |
| 9                   | 16                    |
| 10                  | 16                    |
| 11                  | 16                    |
| 12                  | 16                    |
| 13                  | 16                    |
| 14                  | 8                     |
| 15                  | 4                     |
| 16                  | 4                     |

Tabelle 3.2: Anzahl der Segmente in  $\varphi$  für die einzelnen  $\vartheta$ -Straßen

Abbildung 3.5 zeigt für einzeln simulierte Myonen die Anzahl der Straßen, die angesprochen haben. Man sieht, daß in den meisten Fällen 2 oder 3 Straßen gleichzeitig angesprochen haben.

### 3.2.1 Der $z$ -Vertex-Trigger

In das  $z$ -Vertex-Histogramm werden die Schnittpunkte aller Spuren mit der Strahlachse eingetragen. Im Simulationsprogramm ist folgende Bedingung für einen Peak im Histogramm implementiert:

$$\frac{c_{max} - \frac{c_{back}}{15}}{\sqrt{c_{max}}} \geq \sigma$$

mit  $c_{max}$  : Anzahl der Einträge im Kanal mit den meisten Einträgen  
 $c_{back}$  : Summe der Einträge in allen anderen Kanälen  
 $\sigma$  : Signifikanz = 1.5

Damit eine MWPC-Spur zu einem Eintrag in der CTBV-Bank führt, muß sie auf den Vertex im  $z$ -Vertex-Histogramm zeigen. Dazu muß in dem  $z$ -Vertex-Histogramm ein signifikanter Peak gefunden werden. Das  $J/\psi$ -Ereignis in Abbildung 3.4 ist ein Beispiel für ein Ereignis mit einem  $z$ -Vertex-Histogramm, in dem ein Vertex gefunden wurde. Er ist in der Abbildung durch einen Pfeil markiert.

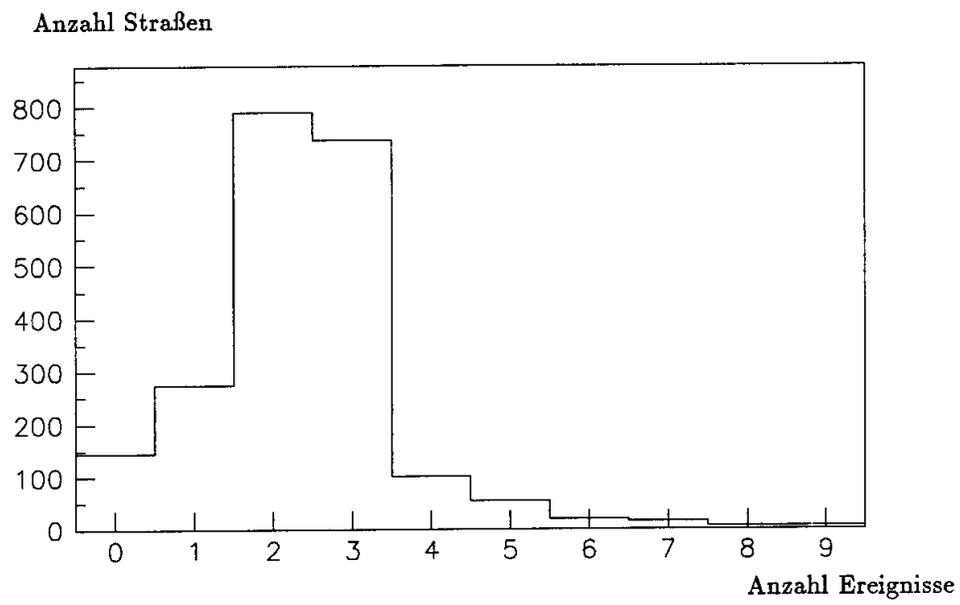


Abbildung 3.5: Anzahl der Straßen pro Myon. Für 2844 Myonen im Winkelbereich  $6^\circ < \vartheta < 153^\circ$  wurde die Anzahl der getriggerten Proportionalkammerstraßen aufgetragen.

Einzelne Myonen führen wegen dieses Algorithmus zu keinen Einträgen in der CTBV-Bank. Deswegen wurde für die Untersuchung einzelner Myonen das Simulationsprogramm so eingestellt, daß *Rays* nur auf ein Bin im  $z$ -Vertex-Histogramm zu zeigen brauchen, in dem mindestens ein Eintrag ist, damit die CTBV-Bank gefüllt wird.<sup>3</sup>

### 3.2.2 Effizienz der Proportionalkammern

Die Effizienz der einzelnen Proportionalkammerlagen liegt bei etwa 99% [Mül91], so daß die Effizienz des Proportionalkammertriggers, der Signale mehrerer Kammerlagen verlangt, niedriger ist. Die Abbildungen 3.6 und 3.7 zeigen die Effizienz des Proportionalkammertriggers gegen  $\vartheta$ . Man sieht, daß die Proportionalkammern nur einen Winkelbereich  $6.5^\circ \leq \vartheta \leq 153^\circ$  abdecken. Im zentralen Bereich ( $30^\circ \lesssim \vartheta \leq 153^\circ$ ) wird mit einer Effizienz von etwa 90% bis 95% eine Spur gefunden. Im Bereich der Vorwärtsproportionalkammern liegt die Effizienz zwischen 90% und 100%, und geht am Übergang von den vorderen zu den zentralen Kammern bei  $\vartheta \approx 30^\circ$  (vgl. Abb. 3.1) auf etwa 82% zurück. Die Effizienz ist im Vorwärtsbereich höher, da hier nur 3 von 6 möglichen Pads gefordert werden, um eine Spur zu definieren.

Abbildung 3.8 zeigt die Effizienz der Proportionalkammern gegen  $\varphi$  innerhalb des Winkelbereichs  $6.5^\circ \leq \vartheta \leq 153^\circ$ . Die Effizienz in  $\varphi$  geht an den Übergängen zwischen den 16 Segmenten auf etwa 80% zurück. Die Bin-Breite in der Abbildung beträgt  $5^\circ$ .

Abbildung 3.9 zeigt den Übergang zwischen zwei  $\varphi$ -Sektoren der Proportionalkammern noch geauer. Man sieht, daß zwischen den Sektoren eine Lücke von  $0.2^\circ$  ist.

---

<sup>3</sup>In der Textbank CTMP wurden die Variablen ISELBI := 3 (Voreinstellung 2) und MINENT := 1 (Voreinstellung 5) gesetzt.

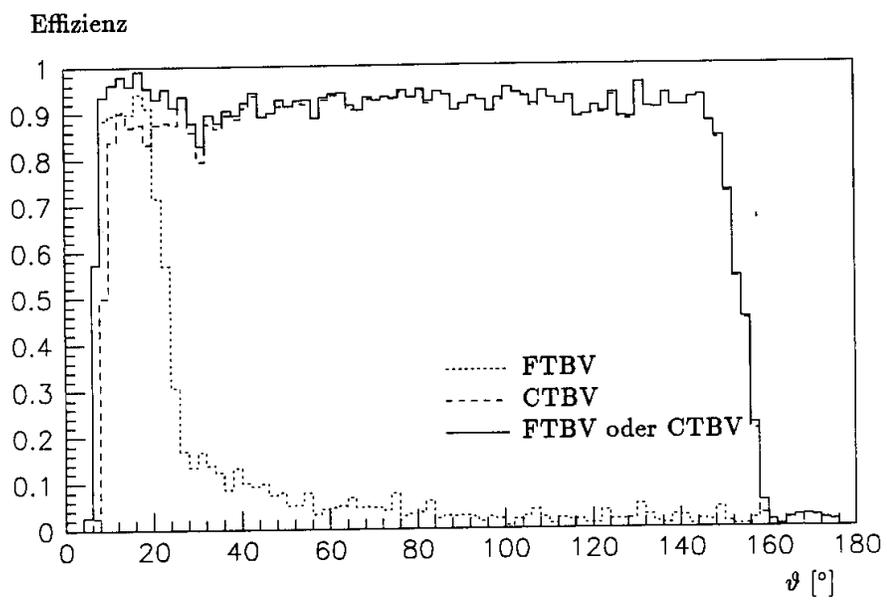


Abbildung 3.6: Die Effizienz der Proportionalkammern gegen  $\vartheta$ . Die Effizienz wird bestimmt durch die Ansprechwahrscheinlichkeit der Pads, sowie durch geometrische Effekte (Kammerwände etc.).

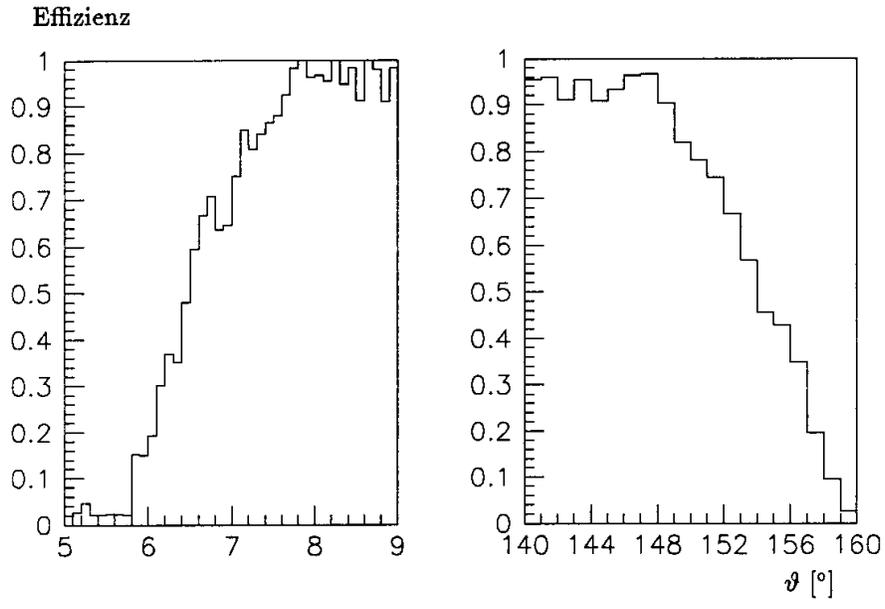


Abbildung 3.7: Die Effizienz der Proportionalkammern gegen  $\vartheta$  an der Grenzen des effizienten Bereichs

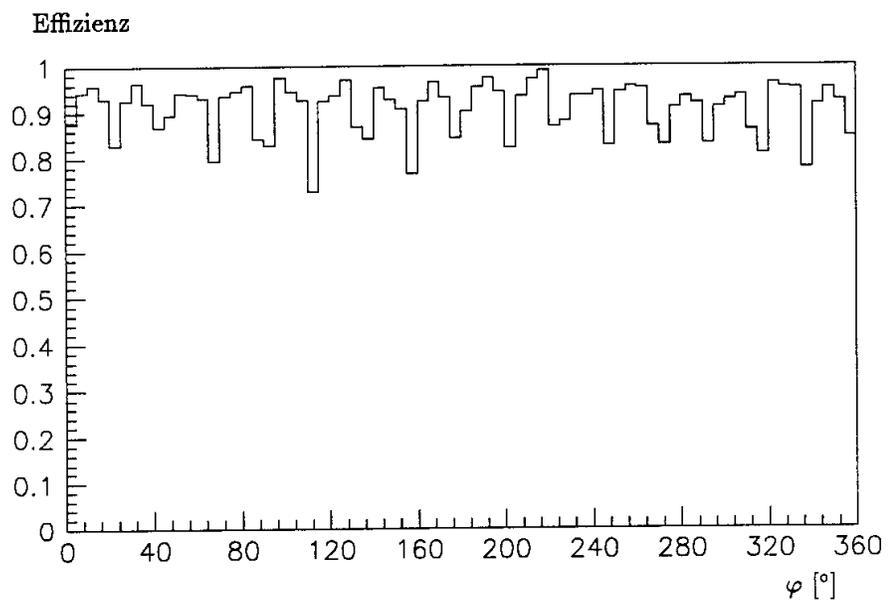


Abbildung 3.8: Die Effizienz der Proportionalkammern gegen  $\varphi$

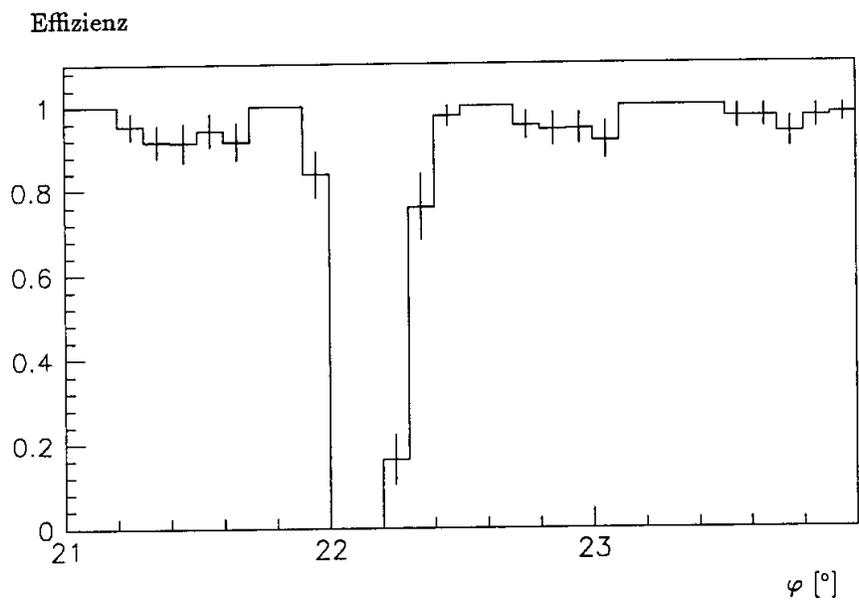


Abbildung 3.9: Die Effizienz der Proportionalkammern gegen  $\varphi$  am Übergang zwischen zwei  $\varphi$ -Sektoren.

# Kapitel 4

## Der kombinierte Myontrigger

Der hier vorgeschlagene Myonen-Trigger soll auf Triggerstufe L3 arbeiten und die in Kapitel 2 und 3 untersuchten Triggerinformationen des instrumentierten Eisens und der Proportionalkammern kombinieren. Wenn in einem Modul des Eisenjochs mindestens 3 Triggerlagen gefeuert haben, und in einer dazu passenden Straße des Proportionalkammertriggers ein Eintrag ist, soll der Trigger ansprechen.

### 4.1 Korrelationen der Triggersignale

#### 4.1.1 Zuordnung in $\vartheta$

Zunächst werden den Unterdetektoren des Eisens  $\vartheta$ -Straßen zugeordnet. Abbildung 4.1 und Tabelle 4.1 zeigen die Zuordnungen. Der vordere und hintere Zentralbereich ist dabei in jeweils drei Modulgruppen unterteilt, da die Module in der Basis (Modulnummern 9 bis 14) kürzer sind, als die anderen Module, und die Module 3 und 4 wegen der Zuführungen des Flüssig-Argon-Kryostats den Unterdetektoren nicht so wie die übrigen Module zugeteilt sind (siehe Abb. 4.2).

#### 4.1.2 Zuordnung im Zentralbereich in $\varphi$

Die Proportionalkammern und das instrumentierte Eisen sind im Zentralbereich in 16  $\varphi$ -Segmente unterteilt, so daß eine Zuordnung von den  $\varphi$ -Segmenten der Proportionalkammern zu den Eisenmodulen einfach ist. Durch das Magnetfeld der supraleitenden Spule werden die geladenen Myonen jedoch in  $\varphi$  abgelenkt, wodurch die Myonen zum Teil im Eisen nicht in das gleiche  $\varphi$ -Segment gelangen wie in den Proportionalkammern. Um die Ablenkung zu messen, wurden einzelne Myonen simuliert, und der Eintrittspunkt der Myonen in das Eisen bestimmt.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>In einer Simulationsbank ist der Ort des Myons am äußeren Radius der Magnetspule abgespeichert. Das entspricht in etwa dem Eintrittspunkt ins Eisen (Abb. 1.2).

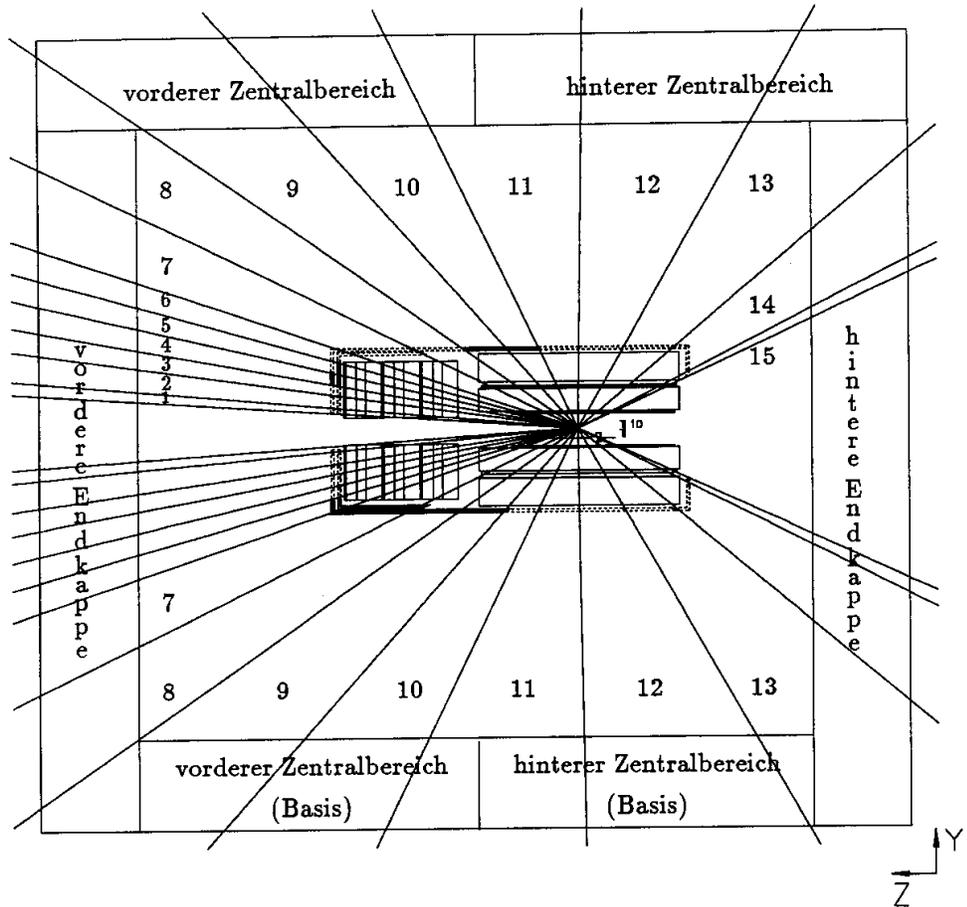


Abbildung 4.1: Zuordnung der Proportionalkammerstraßen zu den Eisenmodulen in  $\vartheta$ . Dargestellt sind die zentralen und vorderen Spurkammern, sowie das instrumentierte Eisen. Die Zahlen geben die Nummern der Proportionalkammerstraßen in  $\vartheta$  an.

| Eisen-Unterdetektor                                | $\vartheta$ -Straßen der Proportionalkammern |
|--|--|
| Vordere Endkappe                                   | 1..9   |
| Vorderer Zentralbereich<br>(Basis)<br>(Module 3,4) | 8..11<br>(9..11)<br>(8..12)                  |
| Hinterer Zentralbereich<br>(Basis)<br>(Module 3,4) | 11..13<br>(11..13)<br>(12..13)               |
| Hintere Endkappe                                   | 13..15                                       |

Tabelle 4.1: Zuordnung der Proportionalkammerstraßen zu den Eisenmodulen

| Myonenimpuls $p_\mu$ [GeV/c]    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 10   |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| gemessene Vielfachstreuung [°]  | 2.77 | 1.56 | 1.18 | 0.93 | 0.77 | 0.66 | 0.69 | 0.58 |
| berechnete Vielfachstreuung [°] | 2.50 | 1.67 | 1.25 | 1.00 | 0.83 | 0.71 | 0.62 | 0.50 |

Tabelle 4.2: Ablenkung der Myonen durch Vielfachstreuung

Der Unterschied  $\Delta\varphi$  zwischen der simulierten Richtung  $\varphi_{str}$  des Myons und dem  $\varphi_{iron}$  des Eintrittspunktes ins Eisen wurde für verschiedene Impulse  $p_\mu$  der Myonen aufgetragen (Abb. 4.3). Die Breite der Verteilung kommt durch Vielfachstreuung im Kalorimeter zustande. Die mittlere Ablenkung  $\Delta\varphi_{rms}$  durch die Vielfachstreuung beträgt [PDG92]:

$$\Delta\varphi_{rms} = 1/\sqrt{3} \cdot \frac{13.6 \text{ MeV}}{\beta c p} z \sqrt{x/X_0} [1 + 0.038 \ln(x/X_0)].$$

Für einen simulierten Winkel  $\vartheta = 90^\circ$  beträgt die Dicke des Detektors bis zum äußeren Radius der Spule — bzw. bis zum Eintritt ins Eisen — etwa  $x = 90X_0$ . Die berechneten und gemessenen Vielfachstreuwinkel sind in Tabelle 4.2 gegenübergestellt. Die Winkel stimmen in etwa überein.

Weiter wurde der Anteil der Myonen bestimmt, der in benachbarten  $\varphi$ -Sektoren in das Eisen gelangt. Dazu wurde für die Myonen  $\Delta\varphi_n = \varphi_{n,MWPC} - \varphi_{n,IRON}$  bestimmt, wobei  $\varphi_{n,MWPC}$  und  $\varphi_{n,IRON}$  die  $\varphi$ -Sektoren in den Proportionalkammern bzw. die Modulnummern im Zentralbereich des Eisens bedeuten. Es gilt  $\varphi_{n,MWPC}, \varphi_{n,IRON} \in \{0..15\}$ . Abbildung 4.4 zeigt den Anteil der Myonen mit  $|\Delta\varphi_n| = 0, 1, 2$  für unterschiedliche Energien. Für den Trigger soll  $|\Delta\varphi_n| \leq 1$  verlangt werden, da der Anteil der Myonen mit  $|\Delta\varphi_n| \geq 2$  für Myonenimpulse  $p_\mu \geq 2 \text{ GeV}/c$ , vernachlässigbar klein ist. Wie in Kapitel 2 beschrieben ist der Eisentrigger erst ab  $p_\mu \geq 2 \text{ GeV}/c$  effizient. So wird z.B. der Proportionalkammer- $\varphi$ -Sektor 0 den Modulen 15, 0 und 1 im Zentralbereich des Eisens zugeordnet.



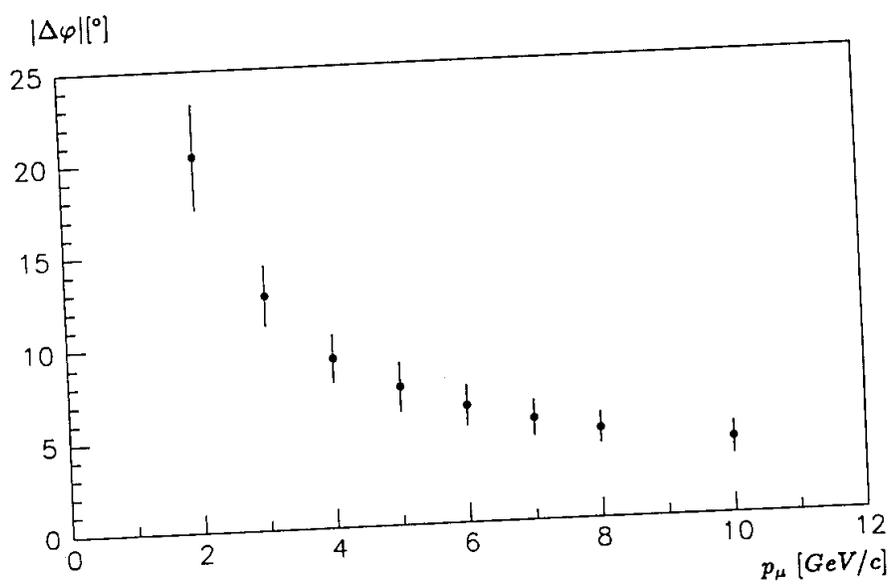


Abbildung 4.3: Ablenkung der Myonen in  $\varphi$  durch das Magnetfeld

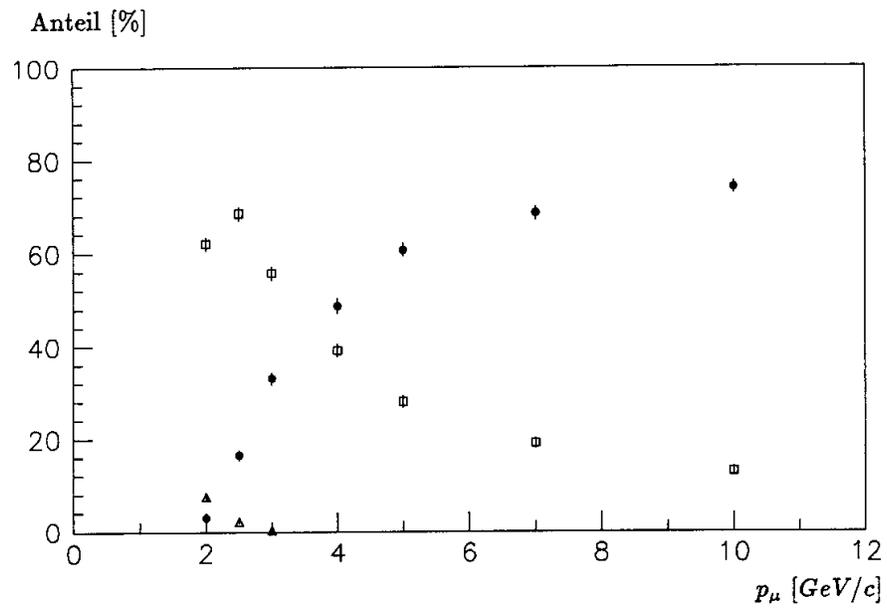


Abbildung 4.4:  $\Delta n$  der  $\varphi$ -Sektoren von den zentralen Proportionalkammern und den Modulen im Zentralbereich des Eisens gegen den Impuls  $p_\mu$  der Myonen. Dabei bedeutet  $\bullet$ :  $\Delta n = 0$ ,  $\square$ :  $\Delta n = 1$  und  $\triangle$ :  $\Delta n = 2$ .

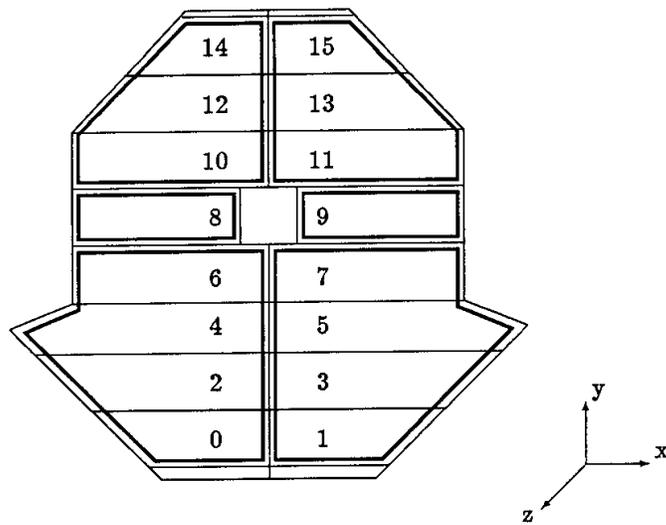


Abbildung 4.5: Unterteilung der Endkappen in 6 Modulgruppen.

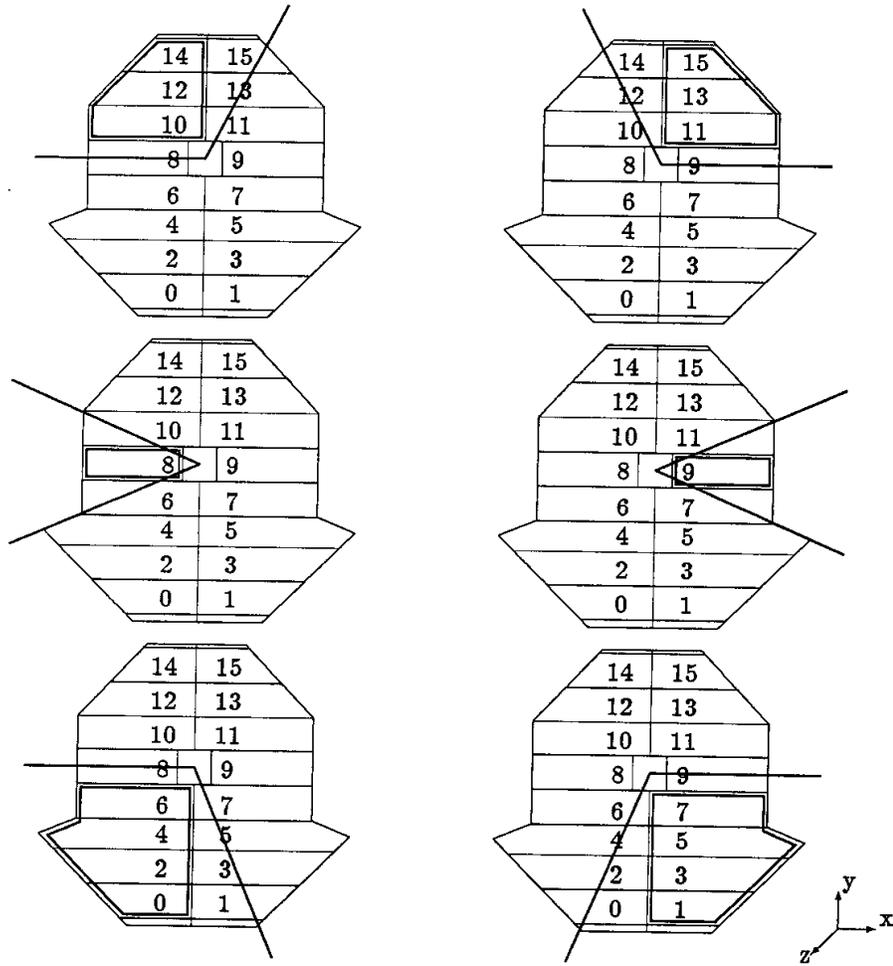


Abbildung 4.6: Zuordnungen von Modulgruppen in den Endkappen zu den  $\varphi$ -Sektoren der Proportionalkammern.

| Eisen-Module<br>in der vorderen<br>Endkappe | $\varphi$ -Sektoren der Proportionalkammern<br>für die $\vartheta$ -Straßen |            |              |
|---|---|------------|--------------|
|   | 1   | 2, 3, 6..9 | 4, 5         |
| 0,2,4,6                                     | 4..6  | 8..12      | 16..25       |
| 1,3,5,7                                     | 5..7  | 11..15     | 22..31       |
| 8   | 3, 4  | 7, 8       | 14..17       |
| 9   | 0, 7  | 15, 0      | 0, 1, 30, 31 |
| 10,12,14                                    | 1..3  | 3..7       | 6..15        |
| 11,13,15                                    | 0..2  | 0..4       | 0..9         |

| Eisen-Module<br>in der hinteren<br>Endkappe | $\varphi$ -Sektoren der Proportionalkammern<br>für die $\vartheta$ -Straßen |      |      |
|---|---|------|------|
|   | 13  | 14   | 15   |
| 0,2,4,6                                     | 8..12   | 4..6 | 2, 3 |
| 1,3,5,7                                     | 11..15  | 5..7 | 2, 3 |
| 8   | 7, 8  | 3, 4 | 1, 2 |
| 9   | 0, 15   | 0, 7 | 0, 3 |
| 10,12,14                                    | 3..7  | 1..3 | 0, 1 |
| 11,13,15                                    | 0..4  | 0..2 | 0, 1 |

Tabelle 4.3: Korrelationen zwischen Straßen und Eisenmodulen in den Endkappen

kombinierten Triggers durch die Effizienz des Eisen-Triggers bestimmt, das heißt, sie geht an den Übergängen zwischen den Unterdetektoren des Eisens zurück. Weiter wurde die Effizienz, gemittelt über einen Winkelbereich  $6.5^\circ \leq \vartheta \leq 153^\circ$ , gegen den Impuls  $p_\mu$  des Myons aufgetragen (Abb. 4.8). Die Effizienz gegen  $p_\mu$  in diesem Winkelbereich entspricht weitgehend der Effizienz des Eisens gegen  $p_\mu$  (vgl. Abb 2.13).

Effizienz

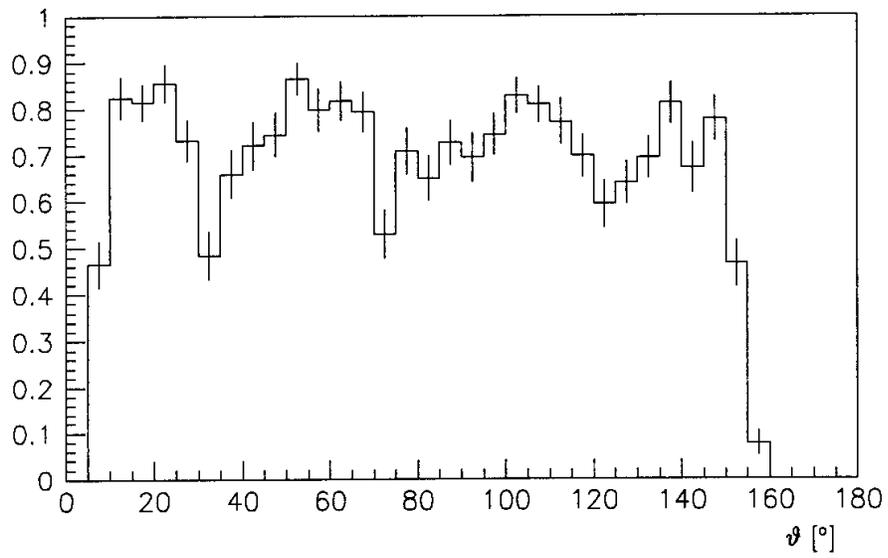


Abbildung 4.7: Effizienz des kombinierten Triggers für einzelne Myonen gegen  $\vartheta$

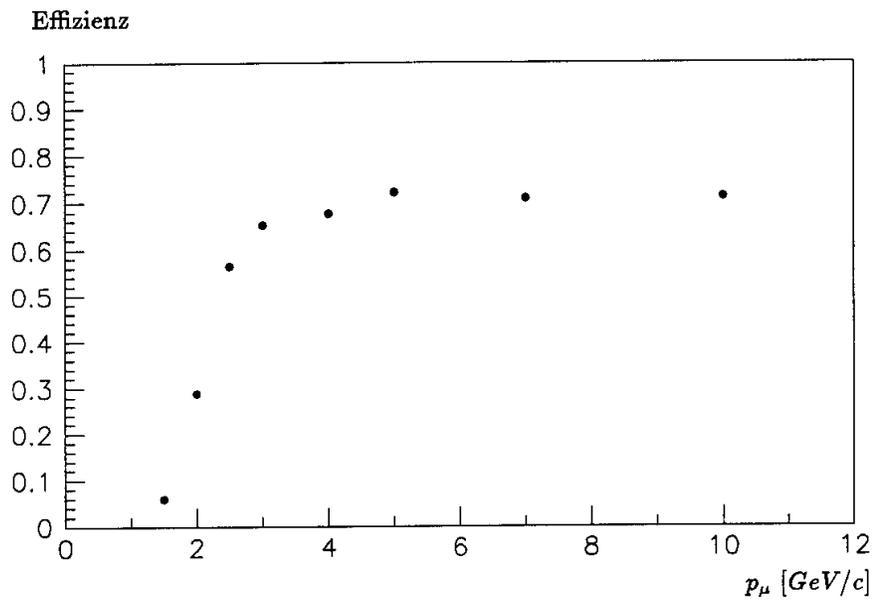


Abbildung 4.8: *Effizienz des Triggers gemittelt über  $6.5^\circ \leq \vartheta \leq 153^\circ$  gegen den Impuls  $p_\mu$  des Myons*

## Kapitel 5

# Der Myontrigger in physikalischen Ereignissen

Der kombinierte Myontrigger wurde mit Daten von simulierten physikalischen Ereignissen getestet. Bei allen Ereignissen wurde berücksichtigt, daß ein großer Teil der Vorwärtsproportionalkammern im H1-Detektor ausgefallen ist. Die Ineffizienz der Vorwärts-MWPC, die dadurch entsteht, wird ausgeglichen, indem nur noch 3 von 6 Pads statt wie vorher 5 von 6 Pads angesprochen haben müssen, um eine Spur zu definieren [Biz91].

### 5.1 Myonen aus $c\bar{c}$ - und $b\bar{b}$ -Zerfällen

Bei HERA entstehen durch Boson-Gluon-Fusion  $c\bar{c}$ ,  $b\bar{b}$ . Die Feynman Diagramme zeigt Abbildung 5.1. Bei den  $b\bar{b}$ -Ereignissen zerfallen die b-Quarks durch schwache Wechselwirkung:

$$b \longrightarrow W^- c, \quad \bar{b} \longrightarrow W^+ \bar{c}.$$

Die dabei auftretenden virtuellen W-Bosonen zerfallen jeweils mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\sim 12\%$  in ein Myon und das entsprechende Neutrino. Die c-Quarks wiederum zerfallen nach:

$$c \longrightarrow W^+ s, \quad \bar{c} \longrightarrow W^- \bar{s}.$$

So können also bis zu vier Myonen entstehen. Die Wahrscheinlichkeit, daß mindestens ein Myon entsteht beträgt bei  $b\bar{b}$ -Ereignissen  $\sim 40\%$  und bei  $c\bar{c}$ -Ereignissen  $\sim 23\%$  [Tut91b]. Wegen der Abhängigkeit des Proportionalkammertriggers vom Finden eines z-Vertex, wurden im folgenden nur solche Ereignisse in den Untersuchungen berücksichtigt, bei denen auch ein z-Vertex gefunden werden konnte. Das ist bei den  $c\bar{c}$ -Ereignissen in 50.7% und bei den  $b\bar{b}$ -Ereignissen in 73.3% der Fall.

Simulierte  $b\bar{b}$  und  $c\bar{c}$  Ereignisse, die myonisch zerfallen, wurden daraufhin untersucht, wie oft der Myon-Trigger anspricht. Dazu wurde die Impuls- und Winkelverteilung der Myonen und die Effizienz des Triggers in Abhängigkeit von  $p_\mu$  und  $\vartheta$  betrachtet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5.2 und 5.3 zu sehen.

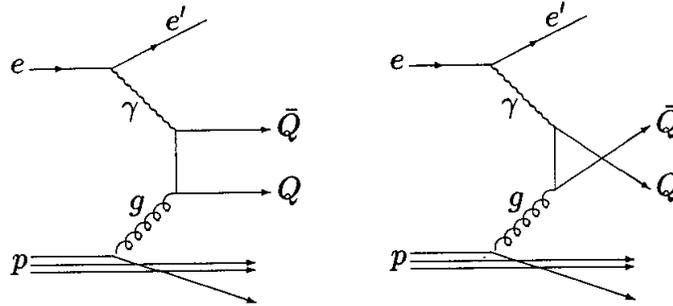


Abbildung 5.1: *Boson-Gluon-Fusion*

Die Untersuchung der Myonen aus  $b\bar{b}$ -Ereignissen zeigt, daß die Effizienz des Triggers für Myonen mit einem Impuls  $p_\mu \geq 2.5 \text{ GeV}/c$  wie erwartet bei etwa 70–80 % liegt, wenn nur Myonen mit  $6.5^\circ \leq \vartheta \leq 153^\circ$  berücksichtigt werden. Gemittelt über alle Ereignisse mit  $p_\mu \geq 2 \text{ GeV}/c$  und  $6.5^\circ \leq \vartheta_\mu \leq 153^\circ$  beträgt die Effizienz des Triggers 72%.

Für die  $c\bar{c}$ -Ereignisse gilt das gleiche, mit der Einschränkung, daß hier die Statistik für Myonenimpulse  $p_\mu \geq 4 \text{ GeV}/c$  sehr schlecht ist. Die gemittelte Effizienz beträgt 65%.

In Tabelle 6.1 sind die Ergebnisse der  $b\bar{b}$ -,  $c\bar{c}$ - und der weiteren Untersuchungen noch einmal zusammengefaßt.

Betrachtet man die Effizienz des Triggers gegen den Polarwinkel  $\vartheta$  des Myons, so sieht man eine ähnliche Winkelabhängigkeit wie bei den einzeln simulierten Myonen. Jedoch geht hier die Effizienz des Triggers für Winkel des Myons  $\vartheta \geq 153^\circ$  nicht auf Null zurück. Das liegt daran, daß der Proportionalkammertrigger auch durch andere Teilchen ausgelöst werden kann. Wenn zufällig eine Straße getroffen wird, die beim Myontrigger dem vom Myon getroffenen Eisenmodul zugeordnet wurde, so spricht der Myontrigger an. Für die  $c\bar{c}$ -Ereignisse ist die Statistik im zentralen Bereich sehr schlecht, aber ansonsten gilt hier wieder das gleiche wie für die  $b\bar{b}$ -Myonen.

## 5.2 $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$ -Ereignisse

Es wurden  $J/\psi$ -Ereignisse (Abb. 5.4) untersucht, die in  $\mu^+\mu^-$  zerfallen. Der Anteil der  $J/\psi$ , der in  $\mu^+\mu^-$  zerfällt beträgt etwa 6% [PDG92]. Von den 2194  $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$ -Ereignissen lösten nur 946 (44%) den z-Vertex-Trigger aus.

Es wurde die Triggereffizienz wieder gegen  $\vartheta$  und  $p_\mu$  des Myons mit dem größeren Impuls aufgetragen. Abbildung 5.5 zeigt das Ergebnis, sowie die Winkel- und Impulsverteilung der Myonen. Auch hier ist die Verteilung wieder so wie bei den einzeln simulierten Myonen. Jedoch ist die Statistik wie bei den  $c\bar{c}$ -Ereignissen für Impulse  $p_\mu \geq 4 \text{ GeV}/c$  und im Zentralbereich schlecht.

Da bei den Zerfällen immer zwei Myonen entstanden sind, wurde auch untersucht, wie oft

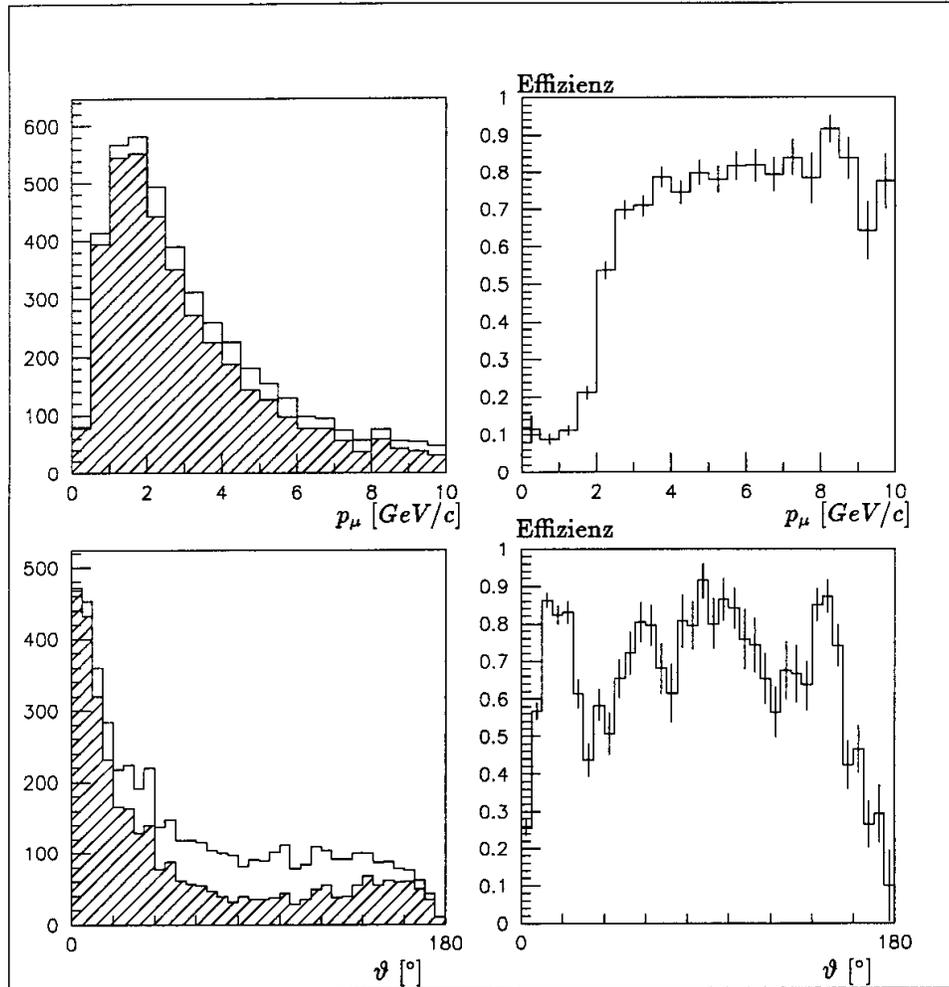


Abbildung 5.2: Myonen aus  $b\bar{b}$ -Ereignissen. Oben links ist die Impulsverteilung der Myonen aufgetragen. Die schraffierte Fläche zeigt die Impulsverteilung der Myonen mit  $6.5^\circ \leq \vartheta \leq 153^\circ$ . Oben rechts ist die Triggereffizienz für diese Myonen aufgetragen. Unten links sieht man die Winkelverteilung der Myonen. Die punktierte Fläche beinhaltet nur die Myonen mit  $p_\mu \geq 2$  GeV/c. Unten rechts ist die Effizienz des Triggers gegen  $\vartheta$  aufgetragen.

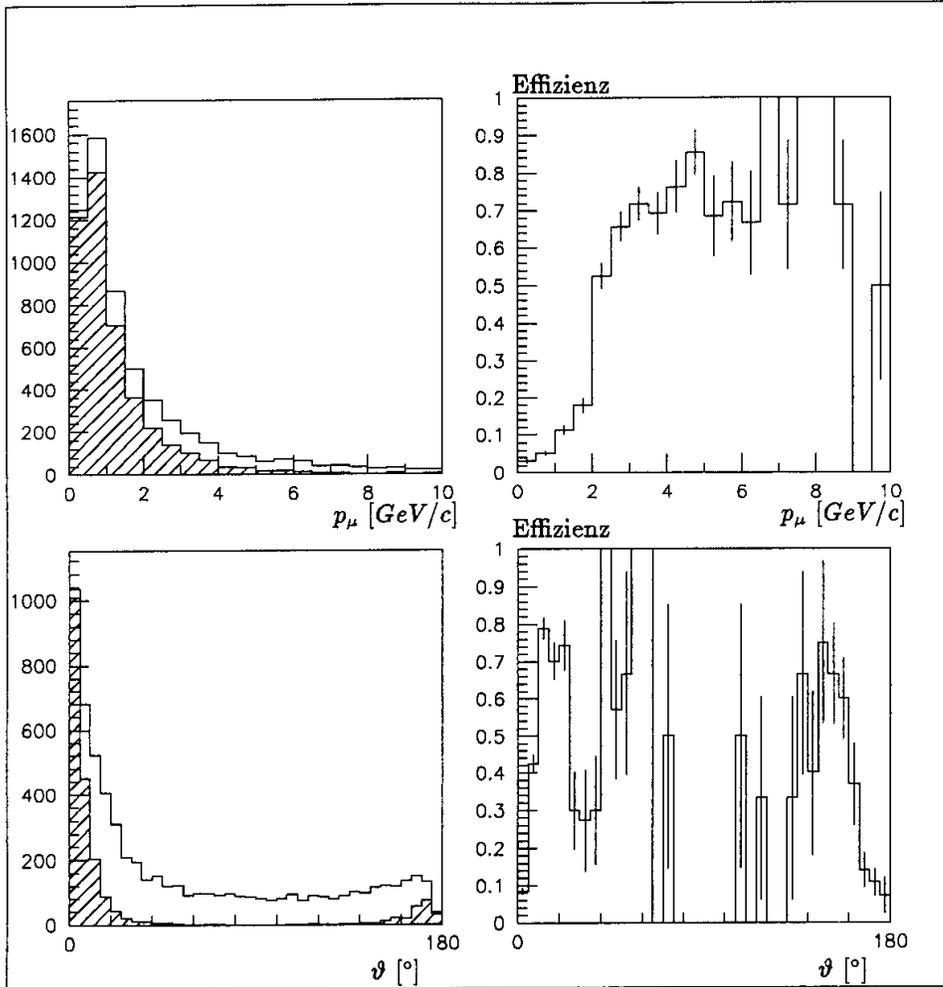


Abbildung 5.3: Myonen aus  $c\bar{c}$ -Ereignissen. Oben links ist die Impulsverteilung der Myonen aufgetragen. Die schraffierte Fläche zeigt die Impulsverteilung der Myonen mit  $6.5^\circ \leq \vartheta \leq 153^\circ$ . Oben rechts ist die Triggereffizienz für diese Myonen aufgetragen. Unten links sieht man die Winkelverteilung der Myonen. Die punktierte Fläche beinhaltet nur die Myonen mit  $p_\mu \geq 2$  GeV/c. Unten rechts ist die Effizienz des Triggers gegen  $\vartheta$  aufgetragen.

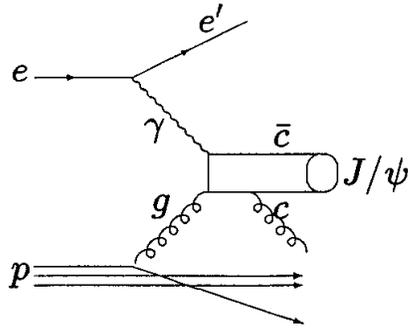


Abbildung 5.4: Diagramm für  $J/\psi$ -Produktion durch Boson-Gluon-Fusion.

|                        |                     | Anzahl der Ereignisse |
|------------------------|---------------------|-----------------------|
| Gesamt                 |                     | 487                   |
| Getriggert             |                     | 369                   |
| Ein Myon getriggert    |                     | 245                   |
| Zwei Myonen getriggert |                     | 124                   |
| erstes Myon in ...     | zweites Myon in ... |                       |
| vordere Endkappe       | vordere Endkappe    | 53                    |
| vordere Endkappe       | Zentralbereich      | 14                    |
| vordere Endkappe       | hintere Endkappe    | 7                     |
| Zentralbereich         | Zentralbereich      | 3                     |
| Zentralbereich         | hintere Endkappe    | 7                     |
| hintere Endkappe       | hintere Endkappe    | 40                    |

Tabelle 5.1: Anzahl der Ereignisse, bei denen der kombinierte Myontrigger zweimal angesprochen hat. Es wurde ein  $z$ -Vertex verlangt, und ein Myon mußte die Bedingungen  $p_\mu \geq 2 \text{ GeV}/c$  und  $6.5^\circ \leq \vartheta_\mu \leq 153^\circ$  erfüllen.

der Trigger für zwei Myonen angesprochen hat. Das heißt, es wurden die Ereignisse gezählt, bei denen die Bedingungen des kombinierten Myontriggers für zwei Module im Eisen erfüllt waren. In 245 (50%) von 487 Ereignissen, wurde der Trigger einmal, in 124 Ereignissen (25%) wurde der Trigger zweimal ausgelöst. In der Tabelle 5.1 sind die Zahlen getrennt für die verschiedenen Kombinationen von Modulen aufgelistet. Die Zahlen beziehen sich nur auf Ereignisse mit einem  $z$ -Vertex, bei denen ein Myon die Bedingungen  $p_\mu \geq 2 \text{ GeV}/c$  und  $6.5^\circ \leq \vartheta_\mu \leq 153^\circ$  erfüllt.

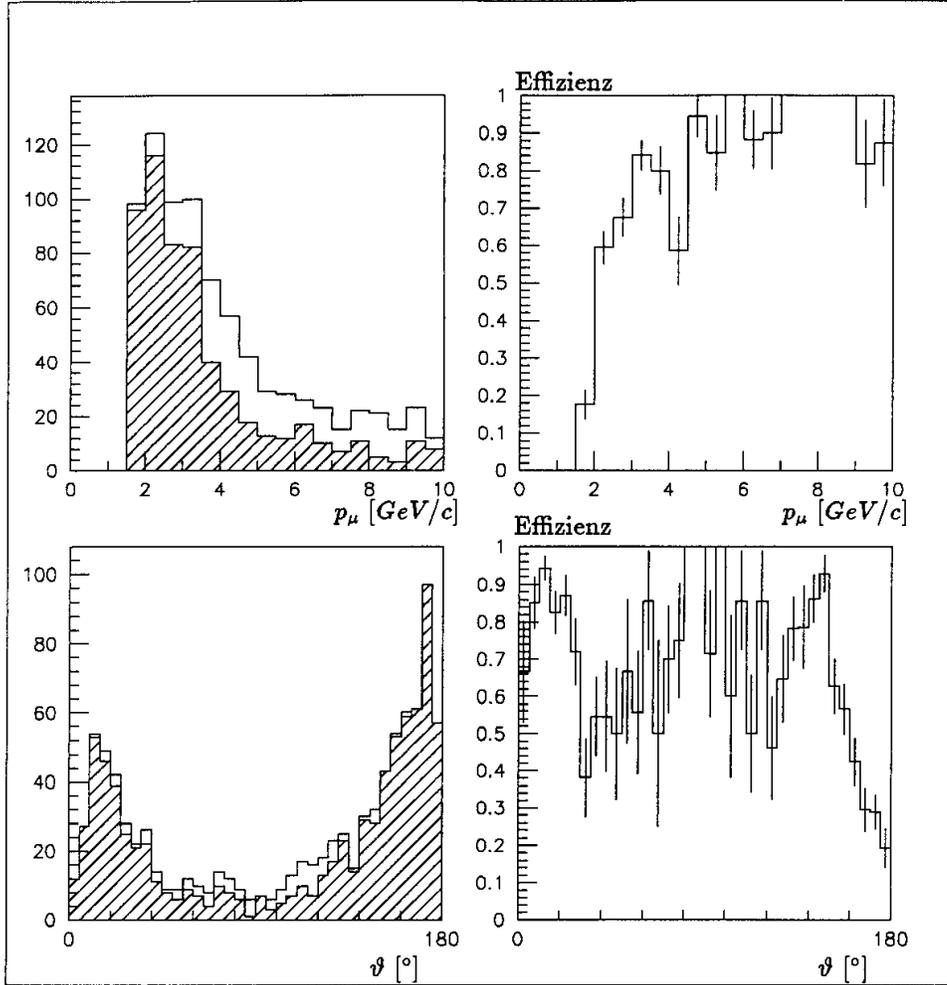


Abbildung 5.5: Impuls- und Winkelverteilung der Myonen aus  $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ -Ereignissen, sowie die Triggereffizienz. Eingezeichnet ist für jedes Ereignis das Myon mit dem größten Impuls  $p_\mu$ . Oben links ist die Impulsverteilung dieser Myonen aufgetragen. Die schraffierte Fläche zeigt die Impulsverteilung der Myonen mit  $6.5^\circ \leq \vartheta \leq 153^\circ$ . Oben rechts ist die Triggereffizienz für diese Myonen aufgetragen. Unten links sieht man die Winkelverteilung der Myonen. Die gepunktete Fläche beinhaltet nur die Myonen mit  $p_\mu \geq 2$  GeV/c. Unten rechts ist die Effizienz des Triggers gegen  $\vartheta$  aufgetragen.

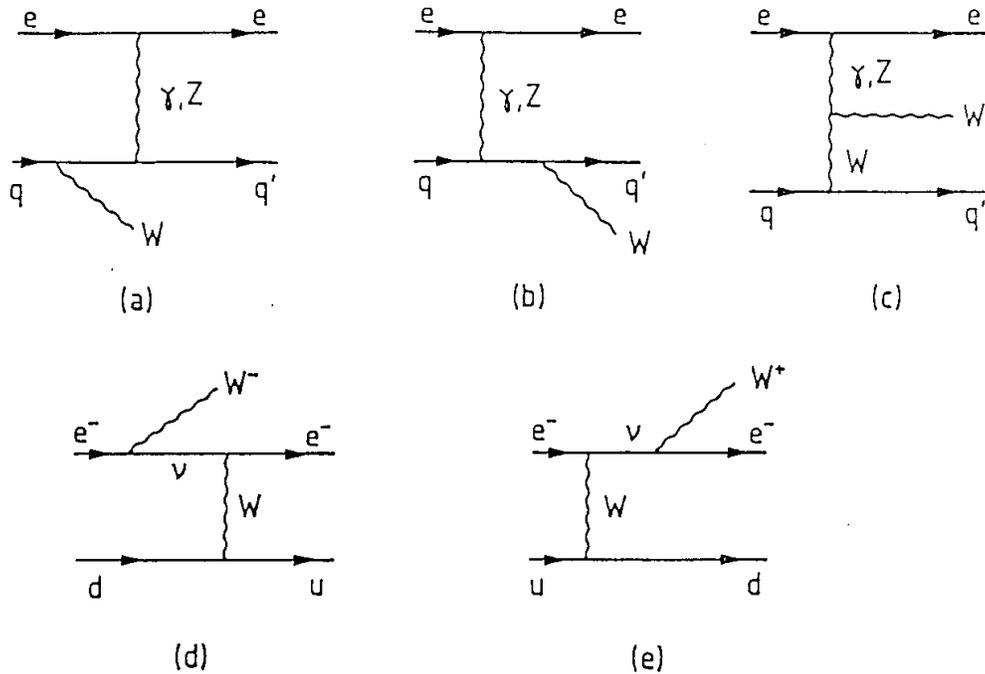


Abbildung 5.6: Bei HERA-Energie relevante Graphen der  $W$ -Produktion

### 5.3 Myonen aus $W$ -Boson Zerfällen

$W$ -Bosonen werden in niedrigster Ordnung durch die Reaktionen

$$e^- p \longrightarrow \nu_e W^- X \quad (5.1)$$

und

$$e^- p \longrightarrow e^- W^\pm X \quad (5.2)$$

erzeugt. Bei einer Schwerpunktsenergie von  $\sqrt{s} = 314 \text{ GeV}$  ist der Beitrag der Reaktion 5.1 jedoch etwa 50mal kleiner, als der der Reaktion 5.2 [Gab86], und kann daher vernachlässigt werden. Abbildung 5.6 zeigt die Feynmangraphen der Reaktionen 5.2. Die  $W$ -Bosonen können weiter zerfallen:

$$W^\pm \longrightarrow \mu^\pm \nu_\mu.$$

Die hierbei erzeugten Myonen haben sehr hohe Impulse (bis zu  $300 \text{ GeV}/c$ ) im Vergleich zu den Myonen aus  $c\bar{c}$ -,  $b\bar{b}$ - oder  $J/\psi$ -Ereignissen. Leider lagen jedoch nur gewichtete Ereignisse vor, so daß die Statistik in den folgenden Abbildungen recht schlecht ist. Von

den insgesamt 64.5 Ereignissen (1550 gewichtete Ereignisse) wurde bei 40.7 (910 gewichtete Ereignisse) der z-Vertex-Trigger ausgelöst, das sind 63%. Abbildung 5.7 zeigt die Impuls- und Winkelverteilung der Myonen aus den W-Zerfällen. Zusätzlich ist die Effizienz des Myontriggers gegen  $p_\mu$  und  $\vartheta$  eingetragen.

## 5.4 Untergrund

Der Trigger wurde mit Untergrundereignissen getestet. Das heißt, es wurde untersucht, wie oft er bei Ereignissen, die durch Zusammenstöße von Protonen mit dem Restgas im Strahlrohr (Beam-Gas) oder mit der Wand des Strahlrohrs entstehen, anspricht.

Dazu wurden Datensätze benutzt, die simulierte Untergrundereignisse enthalten. Jedes getriggerte Ereignis bedeutet eine Untergrundrate von einigen Hertz. Die Untergrundereignisse hatten alle ein T0, und es wurde verlangt, daß ein z-Vertex gefunden wurde.

Die Tabelle 5.2 gibt einen Überblick über das Ansprechen des Triggers bei Untergrundereignissen.

| getriggerte Ereignisse<br>Bereich im Eisen               |                     |                     |          | bei N verlangten<br>Lagen im Eisen |
|--|---------------------|---------------------|----------|------------------------------------|
| vordere<br>Endkappe                                      | Zentral-<br>bereich | hintere<br>Endkappe | $\Sigma$ | N                                  |
| <b>Strahl — Wand:</b><br>ein Ereignis entspricht 10 Hz   |                     |                     |          |                                    |
| 186  | 5                   | 75                  | 236      | 1                                  |
| 76   | 1                   | 21                  | 96       | 2                                  |
| 37   | 0                   | 12                  | 49       | 3                                  |
| 22   | 0                   | 2                   | 24       | 4                                  |
| 4  | 0                   | 0                   | 4        | 5                                  |
| <b>Strahl — Restgas:</b><br>ein Ereignis entspricht 3 Hz |                     |                     |          |                                    |
| 82   | 1                   | 29                  | 112      | 1                                  |
| 34   | 0                   | 8                   | 42       | 2                                  |
| 14   | 0                   | 1                   | 15       | 3                                  |
| 9  | 0                   | 0                   | 9        | 4                                  |
| 2  | 0                   | 0                   | 2        | 5                                  |

Tabelle 5.2: Untergrundtriggerraten

Die Untergrundrate von Strahl - Wand- und Strahl - Restgas-Ereignissen beträgt bei 3 verlangten Lagen in einem Eisenmodul  $490 \text{ Hz} + 45 \text{ Hz} = 535 \text{ Hz}$ . Die meisten von diesen Ereignissen lösen den Trigger aus, indem sie in einem Eisenmodul in der vorderen

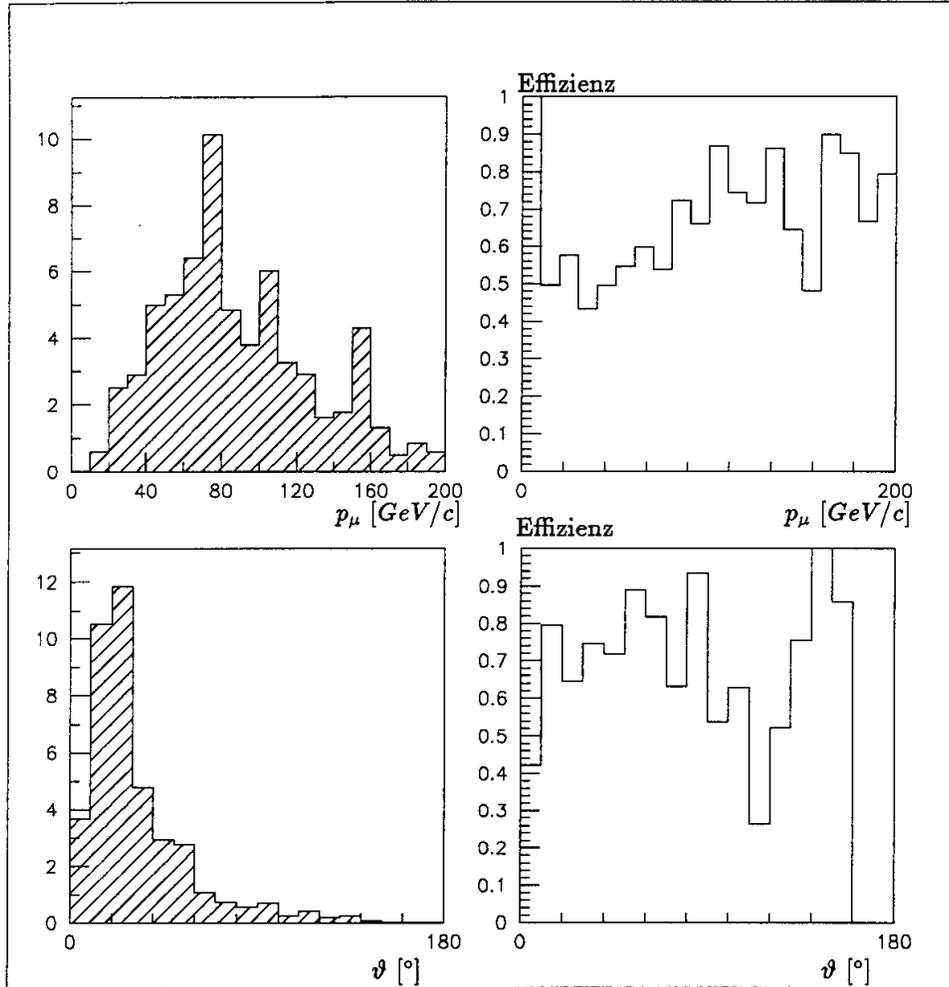


Abbildung 5.7: Impuls- und Winkelverteilung der Myonen aus  $W$ -Boson-Zerfällen, sowie die Triggereffizienz. Eingezeichnet sind links oben die Impulsverteilung der Myonen mit  $6.5^\circ \leq \vartheta \leq 153^\circ$ , rechts oben die Triggereffizienz des kombinierten Myontriggers, links unten die Winkelverteilung der Myonen mit  $p_\mu \geq 2 \text{ GeV}/c$  und rechts unten die Effizienz des Triggers gegen den Polarwinkel  $\vartheta$ . In den Abbildungen ist das Gewicht der Ereignisse berücksichtigt.

Endkappe 3 Lagen treffen. Kein einziges Ereignis wurde dadurch getriggert, daß ein Modul im Zentralbereich des Eisens getroffen wurde, und nur zu einem kleinen Teil (123 Hz) wurde ein Modul in der hinteren Endkappe getroffen.

# Kapitel 6

## Zusammenfassung

Das instrumentierte Eisen triggert mit einer Effizienz von  $\sim 75\%$  Myonen mit einem Impuls  $p_\mu \geq 2.5 \text{ GeV}/c$  im Winkelbereich  $5^\circ \leq \vartheta \leq 175^\circ$ . Dabei gibt es jedoch Bereiche, in denen das Eisen ineffektiv ist, Insbesondere an den Übergängen zwischen den Unterdetektoren und an den Löchern für den Flüssig-Argon-Kryostaten.

Die Proportionalkammern triggern für  $6.5^\circ \leq \vartheta \leq 153^\circ$  mit einer Effizienz von  $\sim 95\%$ .

Durch Kombination der L1-Triggerinformationen von instrumentiertem Eisen und Proportionalkammern können auf der Triggerstufe L3 mit einer Effizienz von  $\sim 70\%$  einzeln simulierte, gleichmäßig verteilte Myonen erkannt werden. Werden bei der Untersuchung von physikalischen Ereignissen mit  $z$ -Vertex nur Myonen mit einem Impuls  $p_\mu \geq 2 \text{ GeV}/c$  und  $6.5^\circ \leq \vartheta_\mu \leq 153^\circ$  berücksichtigt, so ergibt sich eine Effizienz zwischen  $65\%$  ( $c\bar{c}$ ) und  $76\%$  ( $J/\psi$ ) (Tab. 6.1).

Bei einer Untergrundrate von  $535 \text{ Hz}$  ist der kombinierte Myontrigger sicherlich nicht geeignet, Untergrund effektiv zu unterdrücken. Aber der Trigger, der Myonen der verschiedenen Prozesse mit einer Effizienz von etwa  $70\%$  erkennt, könnte in Verbindung mit anderen Triggern dazu genutzt werden, Myonen effizient zu erkennen.

|  | $c\bar{c}$ | $b\bar{b}$ | $J/\psi$  | $W$        |
|--|------------|------------|-----------|------------|
| Anteil der Ereignisse mit $z$ -Vertex                                      | 50.7%      | 73.3%      | 43.1%     | 63.1%      |
| Anzahl der Ereignisse mit $z$ -Vertex                                      | 6284       | 5028       | 946       | 40.7       |
| $p_\mu \geq 2 \text{ GeV}/c$   | 2086       | 3384       | 848       | 40.7       |
| $6.5^\circ \leq \vartheta \leq 153^\circ$                                  | 4397       | 4101       | 583       |            |
| $p_\mu \geq 2 \text{ GeV}/c$ und $6.5^\circ \leq \vartheta \leq 153^\circ$ | 691        | 2532       | 487       | 40.7       |
| davon getriggert   | 449 (65%)  | 1840 (72%) | 369 (76%) | 28.5 (70%) |

Tabelle 6.1: Triggerraten des kombinierten Myontriggers für verschiedene Ereignisse. Die Ereignisse haben einen  $z$ -Vertex-Trigger.

# Literaturverzeichnis

- [Atw88] D. Atwood, *W Production in ep Collisions*, 1988, CERN-TH 5213/88.
- [Bar88a] E. Barrelet et al, *The Hardware Implementation of L3 Triggers in H1*, 1988, H1-Report H1-12/88-100.
- [Bar88b] E. Barrelet et al, *The Software L3 Triggers in H1*, 1988, H1-Report H1-12/88-100.
- [Biz91] J. C. Bizot, *Possibilities of the Forward Ray Trigger*, 1991, H1-Report H1-11/91-201.
- [Bra92] F. W. Brasse, *The H1 Detector at HERA*, 1992, H1-Report H1-10/92-245.
- [Ell90] R. J. Ellison, *The H1 Trigger*, 1990, H1-Report H1-11/90-157.
- [Gab86] E. Gabrielli, *The Production of Weak Intermediate Bosons in  $e - p$  Reactions*, *Modern Physics Letters A*, 1:465, 1986.
- [H1C86] *Technical Proposal for the H1-Detector*, H1 Collaboration, 1986.
- [H1C87] *Technical Progress Report 1987*, H1 Collaboration, 1987.
- [H1C88] *H1 — A Detector for HERA*, H1 Collaboration, 1988, H1-Report H1-05/88-85.
- [Mey91] J. Meyer, *Guide to Simulation Program H1SIM*, 1991.
- [Mül91] K. Müller et al., *Construction and Performance of a Thin Cylindrical Multiwired Proportional Chamber with Cathode Pad Readout for the H1-Experiment*, 1991, H1-Report H1-09/91-192.
- [PDG92] Particle Data Group, *Review of Particle Properties*, 1992.
- [Tka88] S. M. Tkaczyk et al, *Inclusive  $J/\psi$  Production and Measurement of the Low-x Gluon Distribution of the Proton*, In *Proceedings of the HERA-Workshop 1987*, 1988.
- [Tut] J. Tutas, persönliche Mitteilung.

- [Tut91a] J. Tutas, *A Level 1 Trigger for the Limited Streamer Tube system*, 1991, H1-Report H1-07/91-185.
- [Tut91b] J. Tutas, Myonen im H1-Detektor, 1991, Dissertation, RWTH Aachen.
- [Wol86] G. Wolf, *HERA: Physics, Machine and Experiments*, 1986, DESY-Report 86-089.

## Benutzte Datensätze

Myonisch zerfallende  $b\bar{b}$ - und  $c\bar{c}$ -Ereignisse aus Boson-Gluon-Fusion:

```
F22URS.PHYTIA56.BBBAR.H1SIM207.BMU
F22URS.PHYTIA56.SIM207.CCBAR.CMU.CART1
F22URS.PHYTIA56.SIM207.CCBAR.CMU.CART2
F22URS.PHYTIA56.SIM207.CCBAR.CMU.CART3
F22URS.PHYTIA56.SIM207.CCBAR.CMU.CART4
```

$J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$ -Ereignisse:

```
F36HJU.EPJPSI20.IPRO01.ELMU.PB10.SIMOUT
```

Untergrundereignisse:

```
F11CAR.BEAMGAS.TOTAL.CENT.TO.OUTO1
F11CAR.BEAMGAS.TOTAL.CENT.TO.OUTO2
F11CAR.BEAMGAS.TOTAL.CENT.TO.OUTO3
F11CAR.BEAMWAL.TOTAL.CENT.TO
```