Untersuchungen am RZ-Trigger bei H1

Experimentelle Diplomarbeit von
Daniel Nitsch

II. Institut für Experimentalphysik
Universität Hamburg

Hamburg
August 1994

Kurzfassung

Im Jahre 1993 wurden die ersten Testmessungen mit dem R-Z-Trigger bei H1 durchgeführt. Der R-Z-Trigger ist ein Spurtrigger, der ein z-Vertexhistogramm mit einer Auflösung von 5mm erstellt und Spuren, die aus dem $-z$ - Untergrundbereich stammen, zu einer Untergrundsumme aufsummiert.
Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung der Untergrundsummenbildung und der möglichen Reduktion von Untergrundereignissen durch den R-Z-Trigger.
Das Ergebnis ist eine Reduktion des Untergrundes auf der Ebene der ersten Triggerstufe insbesondere für Subtrigger, die Ereignisse mit geringer Multiplizität herausfiltern sollen.

Abstract

In the year 1993 the first data with the R-Z-Trigger was taken. The R-Z-Trigger is a track-trigger, which generates a z-vertexhistogram with a resolution of 5mm. In addition all tracks, which have their origin in the $-z$ - backgroundregion, are summed up.
In this thesis the summing of the backgroundtracks and the possibility of backgroundreduction with the R-Z-Trigger are tested.
The result of this thesis is a reduction of background in the first triggerlevel, particularly for subtriggers which should trigger low-multiplicity-events.

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1

Einleitung

Im Jahre 1991 wurde der Speicherring HERA am Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY) in Betrieb genommen. Es ist der erste Speicherring, bei dem Elektronen mit Protonen kollidieren. Das Ziel von HERA ist die genaue Vermessung der Struktur des (ausgedehnten) Protons mit Hilfe des (punktförmigen) Elektrons. Die hierbei mögliche Auflösung wird durch das Quadrat des Viererimpulsübertrages Q^2 vom Elektron auf das Proton beschrieben. Es wird ein Wert von $Q^2 \geq 4 \cdot 10^4 GeV^2$ erreicht. Dieser Wert übertrifft alle bisher bei festen Targets erreichten Werte um zwei Größenordnungen. Zur Zeit gibt es die beiden Experimente H1 und ZEUS an zwei diametral gegenüberliegenden Wechselwirkungspunkten. Diese Arbeit wurde im Rahmen der H1-Kollaboration durchgeführt.

Die geringen Wirkungsquerschnitte σ der für H1 physikalisch interessanten Reaktionen führen auch bei der mit HERA erreichten Luminosität L von 1993 $\approx 500nb^{-1}$ [?] zu geringen Ereignisraten $N \approx \sigma \cdot L$ von interessanten Reaktionen. Die Elektronen- und Protonenpakete durchdringen sich an den Wechselwirkungspunkten alle 96ns, was bis zu 10^7 möglichen Elektron-Proton-Kollisionen pro Sekunde führen kann. Die Rate des durch mit der Strahlrohrwandung wechselwirkende Protonen und Reaktionen mit Restgasmolekülen hervorgerufenen Untergrundes liegt bei ca. 100kHz. Um alle Daten eines Ereignisses aus dem H1-Detektor auslesen zu können, wird eine Auslesezeit von ca. 1ms benötigt, was bei der auftretenden Untergrundrate zu einer zu hohen Totzeit führt. Dies verdeutlicht die Bedeutung selektierender Elektronik, sogenannter Trigger, bei H1. Diese Trigger haben die Aufgabe Untergrundereignisse herauszufiltern und die Rate der Physikereignisse auf ein verarbeitbares Maß zu reduzieren.
Ereignisse mit hohem Impulsübertrag sind leicht zu erkennen, da bei daraus folgenden hohen transversalen Energien viel Energie in den Kalorimetern deponiert wird. Bei Ereignissen, bei denen das Strahl-Elektron einen transversalen Impuls erhält, ist es im Detektor nachweisbar. Als zusätzliches Ziel hat sich in den letzten Jahren herauskristallisiert, daß auch Physikereignisse mit kleinen Impulsüberträgen interessant sind, da man auch hier Neuland betritt. Ein großes Feld ist die sogenannte Photoproduktion, wo das Elektron praktisch keinen Impuls abgibt und nicht in den Detektor gelangt. Bei kleinen Impulsüberträgen ist so ein eindeutiges Erkennen von Physikereignissen über

das abgelenkte Elektron oder Teilchen hoher transversaler Energie im Detektor nicht möglich. Hier muß der Untergrund durch gute Vertexbestimmung und Spurdefinition herausgefiltert werden.

Der RZ-Trigger ist ein neuer, genauer Spurtrigger, der zur Erkennung des Nicht-Vertex-Untergrundes einen Untergrundtrigger beinhaltet. Das Ziel des RZ-Triggers ist eine exakte Bestimmung des Ereignisvertex in z-Richtung, sowie eine Einbeziehung des Vertex- und des Nicht-Vertex-Untergrundes in die Triggerentscheidung. Um mit Hilfe des Untergrundtriggers den Untergrund zu reduzieren, sollen Teilchenspuren, die nicht aus dem Vertexbereich, sondern aus Richtung des Protonenimpulses stammen, erkannt und aufsummiert werden.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Möglichkeiten des Untergrundtriggers, basierend auf den im Herbst '93 durchgeführten Testmessungen. Es soll untersucht werden, in welchem Maße der Untergrundtrigger in der Lage ist, Nicht-Vertex-Untergrund zu identifizieren und von interessanten Ereignissen zu unterscheiden.

Im Kapitel 2 werden der Speicherring HERA und der H1-Detektor kurz vorgestellt. Dabei wird besonders auf die Spurkammern und die für den RZ-Trigger wichtigen Driftkammern CIZ und COZ eingegangen. Im Kapitel 3 wird das H1-Triggersystem beschrieben und der Aufbau des RZ-Triggers erkärt, wobei die Spurbildung in der Eingangslogik des RZ-Triggers und die Bildung der Triggerentscheidung besonders hervorgehoben werden. Im Kapitel 4 wird die in dieser Diplomarbeit genauer untersuchte Untergrundtriggerlogik beschrieben und die Bildung der Untergrundsumme sowie das Programm zur Berechnung der Untergrundsumme erklärt. Im Kapitel 5 werden die im Herbst '93 durchgeführten Messungen aufgelistet. Kapitel 6 beinhaltet die Auswertung der aufgenommenen Daten sowie eine Untersuchung von schon vorhandenen Datensätzen bei H1. Besonderes Gewicht wird bei der Auswertung auf die Bewertung von Physikereignissen durch den Untergrundtrigger und die Rate des auf erster Triggerstufe durch den Untergrundtrigger erkennbaren Untergrundes gelegt. Im Kapitel 7 werden die im Kapitel 6 erhaltenen Erkenntnisse zusammengefaßt und bewertet, sowie ein Ausblick auf die Einsatzmöglichkeiten und die Funktion des Untergrundtriggers im Jahr 1994 gegeben.

Kapitel 2

HERA und der H1-Detektor

Im Abschnitt 2.1 wird ein Überblick über den Ringbeschleuniger HERA[1] gegeben und im Abschnitt 2.2 wird der Detektor H1 beschrieben.

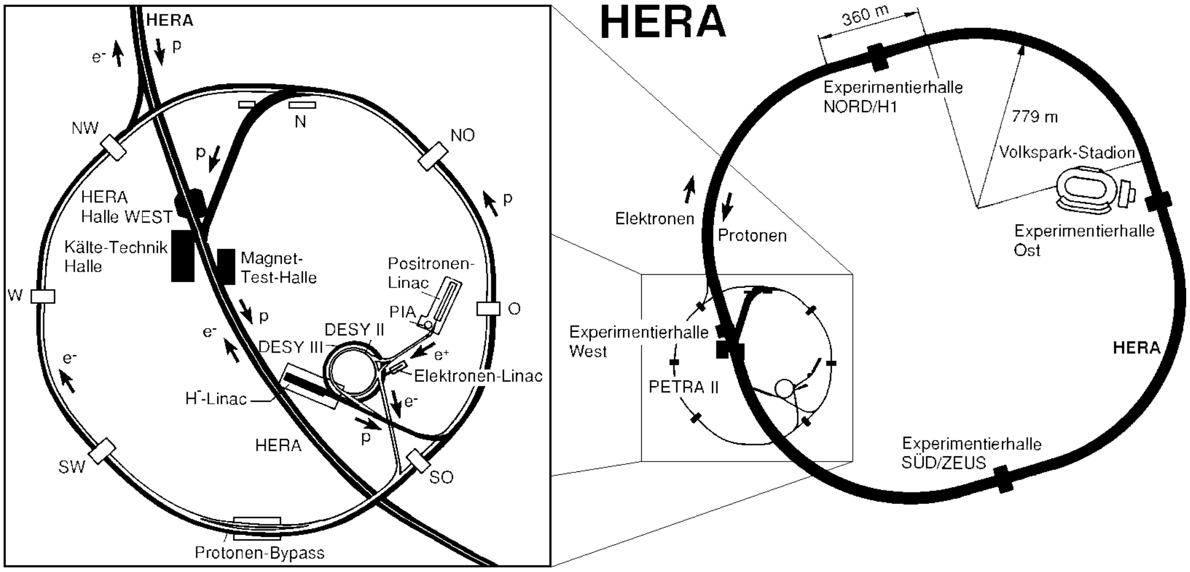

Abbildung 2.1: *Schematische Ansicht des Beschleunigersystems HERA*

2.1 HERA

Im Speicherring HERA (Abbildung ??), der 1991 in Betrieb genommen wurde, werden Protonen mit einer Energie von 820GeV mit Elektronen einer Energie von 27.4GeV

[1]Hadron Elektron Ring Anlage

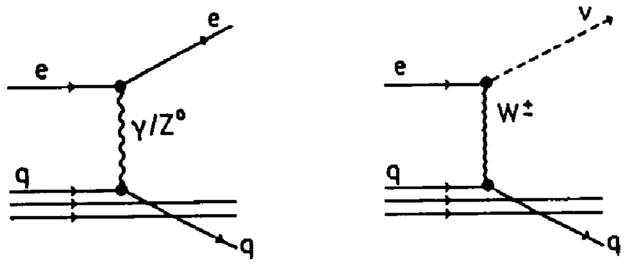

Abbildung 2.2: *NC (neutral-current)- und CC (charged-current)- Ereignis*

(30GeV Sollwert) zur Kollision gebracht. Daraus ergeben sich Schwerpunktenergien bis zu $\sqrt{s} = 314 GeV$. Der Speicherring befindet sich in einem 6.3km langen, ringförmigen Tunnel. Protonen und Elektronen laufen in getrennten Ringen (HERA-e und HERA-p) gegenläufig um. Zur Zeit befinden sich an zwei der vier möglichen Wechselwirkungspunkten die Detektoren H1 und ZEUS.

Bei HERA werden Werte für den Viererimpulsübertrag erreicht, die um zwei Größenordnungen über allen bisher von existierenden feste Target - Experimenten erreichten Werten liegen. Die erreichbare räumliche Auflösung Δ und der Viererimpulsübertrag Q sind über die Heisenbergsche Unschärferelation miteinander verknüpft: $\Delta \approx \hbar/Q$. Daraus ergibt sich für HERA eine um mehr als eine Größenordnung bessere Auflösung des Protons.

2.1.1 Physik bei HERA

Bei HERA wechselwirken Protonen mit Elektronen. Das Elektron unterliegt der elektromagnetischen und der schwachen Wechselwirkung. Das Proton, bestehend aus zwei u- und einem d-Quark, unterliegt zusätzlich der starken Wechselwirkung. Die Quantenelektrodynamik beschreibt die elektromagnetische Wechselwirkung als Austausch von Photonen γ. Die schwache Wechselwirkung wird als Austausch von Z^0-, W^+- oder W^--Teilchen beschrieben. Die Quantenchromodynamik beschreibt die starke Wechselwirkung als Austausch von Gluonen g.
Bei e-p-Streuung kommen sowohl der Austausch von γ und Z^0 (NC)[2] als auch der von W^+ und W^- (CC)[3] vor (siehe Abbildung **??**).

[2]NC = Neutral Current = neutraler Strom
[3]CC = Charged Current = geladener Strom

Die Gesamtkinematik einer e-p -Streuung kann bei fester Gesamtenergie durch zwei unabhängige Variablen bestimmt werden. Üblich sind die Variablenpaare (x, Q^2) oder (x,y), wobei Q^2 das Quadrat des Viererimpulsübertrags und x und y die dimensionslosen Bjorken'schen Skalenvariablen mit $0 \leq (x, y) \leq 1$ darstellen.

Das Quadrat des Viererimpulsübertrags Q^2 ergibt sich aus:

$$Q^2 \equiv -q^2 = -(p_e - p_l)^2 \cong 4 E_e E_l sin^2 \frac{\theta_l}{2},$$

wobei p_e der Viererimpuls des Elektrons, p_l der Viererimpuls des gestreuten Leptons, E_e die Energie des Elektrons, E_l die Energie des gestreuten Leptons und θ_l der Winkel zwischen dem gestreuten Lepton und der Strahlrichtung des Protons ist.

Die Variable x beschreibt im Parton-Modell den Anteil des gestoßenen Partons am Gesamtimpuls des Protons und y den Energietransfer von dem Elektron auf das Proton. Die Variablen x und y sind folgendermaßen definiert:

$$x \equiv \frac{Q^2}{2P \cdot q} \cong \frac{E_e E_l sin^2 \frac{\theta_l}{2}}{E_p (E_e - E_l cos^2 \frac{\theta_l}{2})}$$

$$y \equiv \frac{P \cdot q}{P \cdot p_e} = \frac{2P \cdot q}{s} \cong \frac{E_e - E_l cos^2 \frac{\theta_l}{2}}{E_e},$$

wobei E_p die Energie und P der Viererimpuls des Protons sind und s das invariante Massenquadrat ist. Der hier beschriebene Trigger soll hauptsächlich Ereignisse mit wenig transversal abgestrahlter Energie erkennen und klassifizieren. Das sind Ereignisse mit kleinem Q^2 (sogenannte Photoproduktion), wo das Elektron in der Strahlröhre verbleibt und das Proton mit einem praktisch reellen Photon wechselwirkt. Hier ist besonders die Klasse der Photon-Gluon-Fusion und die Erzeugung von schweren Quarks von Bedeutung, da bei diesen Prozessen die transversale Energie von der Größenordnung 1GeV ist. Die Identifikation der schweren Quarks erlaubt dann Rückschlüsse auf die Gluonverteilung im Proton.

2.2 Der H1-Detektor

Im folgenden wird zuerst eine Beschreibung des H1-Detektors gegeben. Um die Umgebung der für den RZ-Trigger wichtigen Driftkammern zu beschreiben, wird auf das zentrale Spurkammersystem genauer eingegangen. Insbesondere die Z-Driftkammern und ihre Funktionsweise werden detailliert beschrieben.
Der H1-Detektor ist in Abbildung **??** dargestellt. Dieser ist aufgrund der unterschiedlichen Elektron- und Proton-Strahlenergien bezüglich der Vorwärts- Rückwärtsrichtung

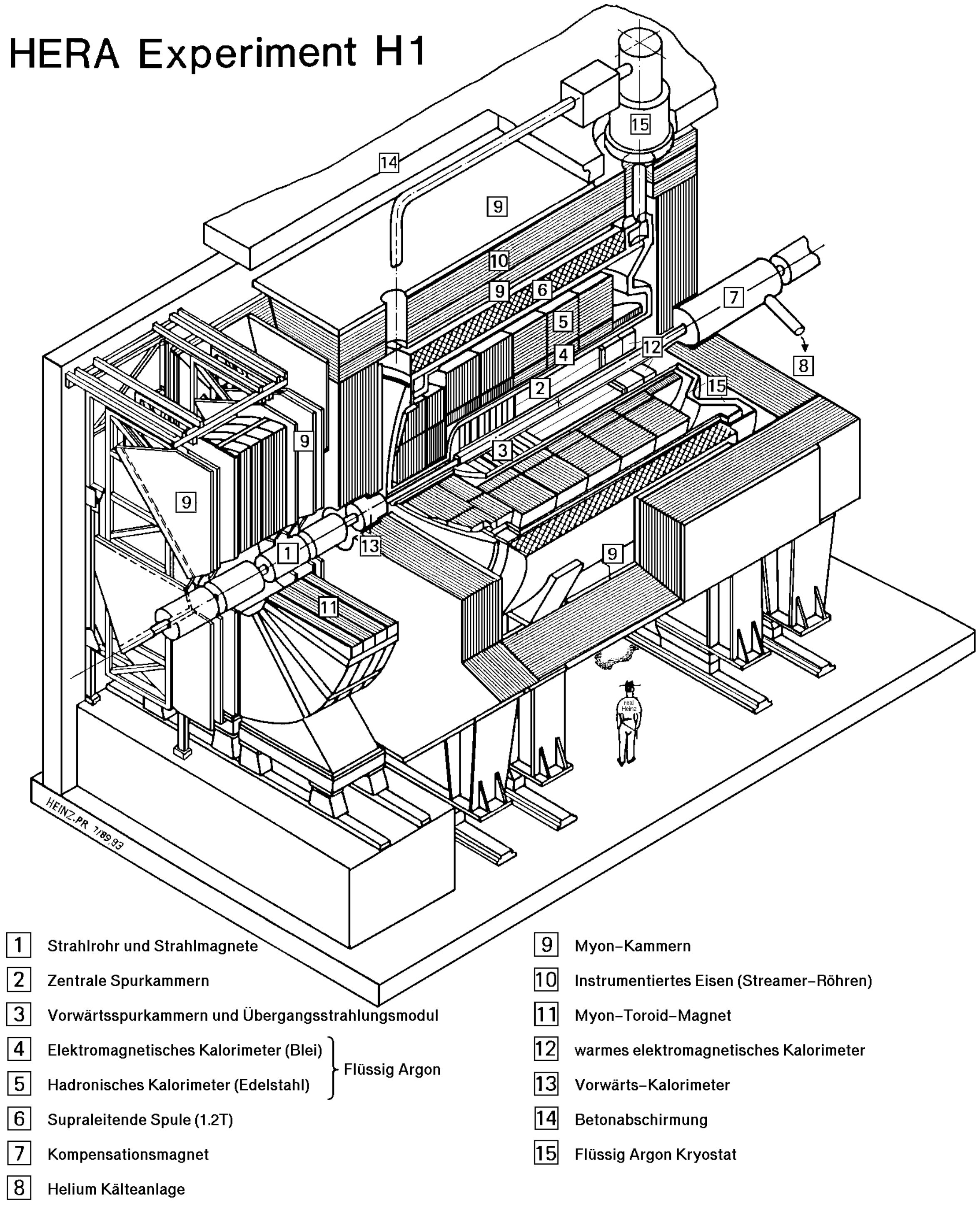

Abbildung 2.3: *Schematische Ansicht des H1-Detektors parallel zur Strahlachse*

asymmetrisch aufgebaut.
In ihm sollen Spur, Impuls und Energie isolierter Teilchen gemessen sowie Jets mit hoher Teilchendichte mit ihrer Energie bestimmt werden. Zur Spurbestimmung und Impulsbestimmung bei niedrigen Energien dienen die zentralen Spurkammern $\boxed{2}$ und das Vorwärtsspursystem $\boxed{3}$.
Die Spurkammern sind von einem elektromagnetischen Kalorimeter $\boxed{4}$ und einem hadronischen Kalorimeter $\boxed{5}$ eingeschlossen, die zur Energiebestimmung und zur Identifikation von Teilchen dienen. In ihnen werden auch Jets nachgewiesen und deren Energie bestimmt.
Das Spursystem und die Kalorimeter sind von einer supraleitenden Spule $\boxed{6}$ umgeben. Diese Spule erzeugt ein weitgehend homogenes Magnetfeld von 1.2 Tesla parallel zur Strahlachse, um eine Impulsmessung anhand von Spurkrümmungen zu ermöglichen.
Außerhalb der supraleitenden Spule befinden sich das Eisenjoch $\boxed{10}$ zur Rückführung des magnetischen Flusses und die Myonenkammern $\boxed{9}$ zur Messung und Identifikation von Myonen.

Das H1-Koordinatensystem

Das H1-Koordinatensystem ist ein rechtshändiges System, dabei wird seine z-Achse durch die Richtung der einlaufenden Protonen definiert. Die x-Achse zeigt in Richtung des Mittelpunktes des HERA-Ringes, und die y-Achse zeigt nach oben.

2.2.1 Das Spurkammersystem

Das Spurkammersystem besteht aus den zentralen Spurkammern $\boxed{2}$, dem Vorwärtsspursystem $\boxed{3}$ und der Rückwärtsproportionalkammer.
Die Elektronen- und die Protonenpakete durchdringen sich in der Vertexregion, die aufgrund der gaußförmigen Struktur ($\sigma_z = 10cm$) des Protonpaketes eine Ausdehnung um den nominellen Wechselwirkungspunkt hat.

Zentrale Spurkammern

Der Zentralbereich der Vertexregion wird von den Jetkammern CJC1[4] und CJC2, den Driftkammern CIZ[5] und COZ[6] und den Proportionalkammern CIP[7] und COP[8] in einem Polarwinkelbereich von $25° < \theta < 155°$ eingeschlossen (siehe Abbildung **??**). Die Drähte

[4]Central Jet Chamber = Zentrale Jetkammer
[5]Central Inner Z-Chamber = Zentrale Innere Z-Kammer
[6]Central Outer Z-Chamber = Zentrale Äußere Z-Kammer
[7]Central Inner Propchamber = Zentrale Innere Proportionalkammer
[8]Central Outer Propchamber = Zentrale Äußere Proportionalkammer

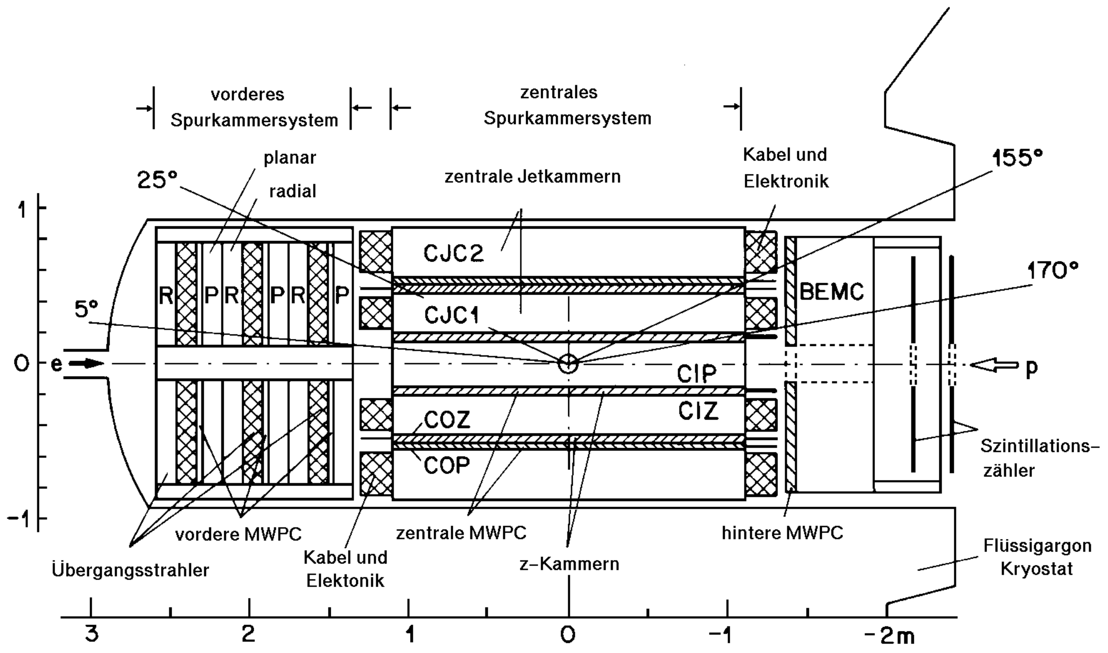

Abbildung 2.4: *Das Spurkammersystem des H1-Detektors*

der beiden zentralen Driftkammern CJC1 und CJC2 sind entlang der Strahlachse (z-Achse) gespannt, die Auflösung in der $r\phi$-Ebene beträgt $\sigma_{r\phi} = 170\,\mu m$ und in z-Richtung $\sigma_z = 22\,mm$. Die beiden z-Vertex-Driftkammern CIZ und COZ, bestehend aus dünnen Driftkammern mit Signaldrähten senkrecht zur Strahlachse, liefern eine genauere z-Auflösung von $\sigma_z = 350\,\mu m$. Die Signaldrähte sind in einem Polygon um die z-Achse gespannt.
Die Impulsbestimmung im zentralen Spursystem erfolgt mit einer Genauigkeit von $\sigma_p/p^2 \leq 0.01\,GeV^{-1}$. Die Bestimmung des Energieverlustes geladener Teilchen, der zur Teilchenidentifikation verwendet wird, ist mit $\sigma(dE)/dE = 10\%$ möglich [?].

Die Vorwärtsspurkammer

Die Vorwärtsspurkammer setzt sich aus drei Modulen zusammen, die jeweils aus zwei Driftkammern (radial und planar), einer Proportionalkammer für Triggerzwecke und einem Übergangsstrahlungsdetektor zur Teilchenidentifikation (e-π–Trennung) bestehen. Sie erfaßt Teilchenspuren im Polarwinkelbereich von 7° bis 25°. Die Auflösung dieser Kammer beträgt $\sigma_{r\phi} = 170\,\mu m$ und $\sigma_{xy} = 210\,\mu m$ [?].

2.2.2 Das hintere elektromagnetische Kalorimeter

In der hinteren ($-z$) Region des H1-Detektors ist radial zur z-Achse ein elektromagnetisches Blei-Szintillator-Schichtkalorimeter angebracht (siehe Abbildung ??). Es soll Energie und Richtung von Elektronen messen, die durch tief inelastische Prozesse unter kleinen Winkeln gestreut wurden.

2.2.3 Driftkammern

Driftkammern erlauben die räumliche Erfassung von Spuren ionisierender Teilchen. Sie basieren auf dem direkten Nachweis von Elektronen und Ionen, die bei dem Durchgang ionisierender Strahlung durch eine gasgefüllte Kammer entstehen, in der zwecks Ladungstrennung und Ladungsnachweis ein elektrisches Feld herrscht.

Funktionsweise

Bei Abwesenheit eines elektrischen Feldes führt die thermische Bewegung in den Driftkammern nach erfolgter Ionisation durch die nachzuweisenden Teilchen schnell zur Rekombination der Ladungsträger. Das Vorhandensein eines elektrischen Feldes bewirkt jedoch die Trennung der Elektronen und Ionen. Die Ladungsträger driften nun in einem etwa homogenen elektrischen Feld zur entsprechenden Elektrode. In der Nähe des Meßdrahtes kommt es aufgrund der höheren elektrischen Feldstärken zur Ionisation der den Draht umgebenden Gasmoleküle durch einfallende Elektronen. Die dabei freiwerdenden Elektronen führen zu weiteren Ionisationen. Es kommt zu einer lawinenartigen Verstärkung der Primärelektronen und damit des Stromes, da sich die Elektronen wesentlich schneller bewegen als die Ionen. Der daraus entstehende Strompuls wird an den Signaldrähten gemessen. Die Ortskoordinate x des Teilchendurchgangs relativ zum nachweisenden Anodendraht ist dann durch die Beziehung:

$$x = \int_{t_0}^{t_1} v_D(t)dt$$

gegeben. Bei einem entlang des Driftweges annähernd homogenen elektrischen Feld wird ein näherungsweise linearer Zusammenhang zwischen Ionisationsort und Driftzeit erreicht, so daß die Messung der Driftzeit dann in verhältnismäßig einfacher Weise über

$$x = v_D(t_1 - t_0) = v_D\Delta t$$

eine Ortsmessung ermöglicht [**?**].

2.2.4 Die Z-Driftkammern CIZ und COZ

Der in dieser Arbeit behandelte RZ-Trigger erhält seine Daten aus den Driftkammern CIZ und COZ. Sie sind nah am Strahl positioniert ($\mathrm{r}^{CIZ} = 200mm; r^{COZ} = 470mm$) [**?**], wie in Abbildung **??** zu sehen ist. Dies und die Tatsache, daß die Driftwege beider Kammern parallel zur Strahlachse verlaufen, erlaubt eine Auflösung der z-Koordinate von ungefähr 350μm. Die zentrale innere Z-Kammer CIZ besteht aus 15 Zellen mit jeweils einer Länge von 120mm. Die zentrale äußere Z-Kammer besteht aus 24 Zellen

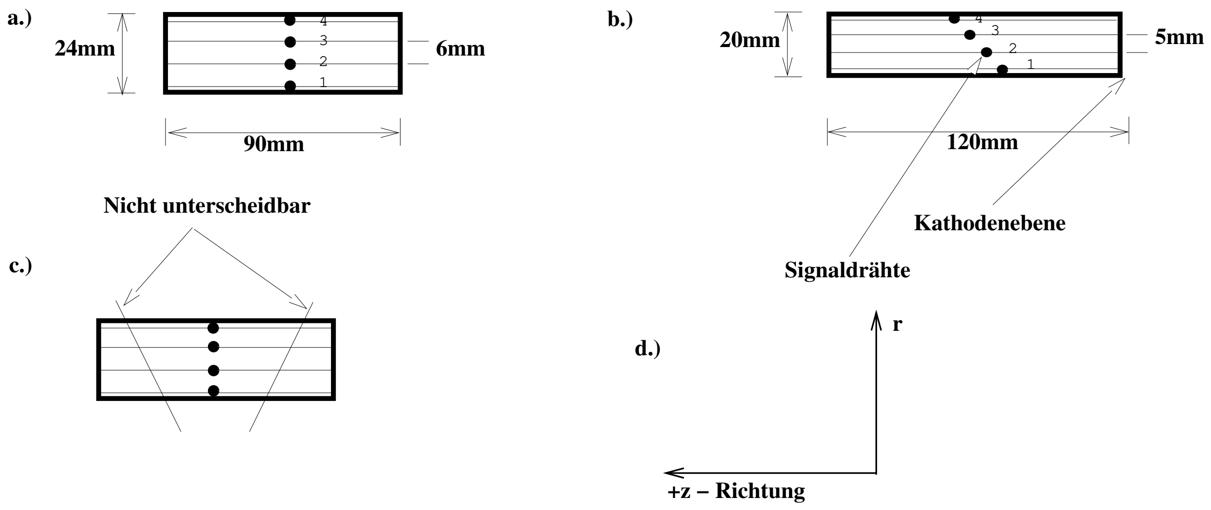

Abbildung 2.5: *a.) Driftkammerzelle aus der Z-Vertex-Drifkammer COZ. b.) Driftkammerzelle aus der Z-Vertex-Drifkammer CIZ. c.) Eine Spiegelspur. d.) Das H1-Koordinatensystem.*

mit einer Länge von jeweils 90mm. In Abbildung **??** sind schematisch Driftkammerzellen aus den Driftkammern CIZ und COZ dargestellt. Beide Driftkammern haben vier Signaldrähte pro Zelle, die ringförmig mit wachsendem Radius um die Strahlachse gespannt sind. Bei der Driftkammer CIZ ist die Signaldrahtebene um 45° zur z-Achse geneigt (siehe Abbildung **??**). Die Signaldrahtebenen der ersten (aus $-z$-Richtung gesehen) neun Driftzellen sind in $-z$-Richtung geneigt, die sechs verbleibenden Driftzellen sind in $+z$-Richtung geneigt. Die Driftkammerzellen sind von negativen zu positiven z-Koordinaten durchnumeriert (CIZ von 1 bis 15; COZ von 1 bis 24).

Spurerkennung in Driftkammern

Teilchenspuren werden in Driftkammern rekonstruiert, indem die Ortsmessung an mehreren Signaldrähten, die mit wachsendem Radius gespannt sind (siehe Abbildung **??**), vorgenommen wird und so aus mehreren Ortskoordinaten eine Teilchenspur erzeugt werden kann. Da man bei der Messung eines Signaldrahtpulses nicht weiß, von welcher Seite die Ladungswolke den Anodendraht erreicht hat, können sogenannte Spiegelspuren entstehen. Für eine auf Driftzellen aufbauende Logik ist der Ort nicht eindeutig zuordbar. Die Logik erkennt in diesem Fall immer zwei gleichberechtigte Teilchenspuren (siehe Abbildung **??**c), die spiegelsymmetrisch zur Signaldrahtebene angeordnet sind. In der Driftkammer COZ kann so eine aus dem Untergrund kommende Teilchenspur eine Spiegelspur erzeugen, die auf den Vertex weist und umgekehrt. Bei der Driftkammer CIZ ist das aufgrund der Signaldrahtebenenneigung (siehe Abbildung **??**) nicht der Fall, da in der CIZ immer nur 3 Signaldrähte effizient sind. Das elektrische Feld des vierten Drahtes wird von dem des dritten Drahtes abgeschirmt. So kann die Teilchenspur in Abbildung **??** nur von den Drähten 1-3 wahrgenommen werden. In der

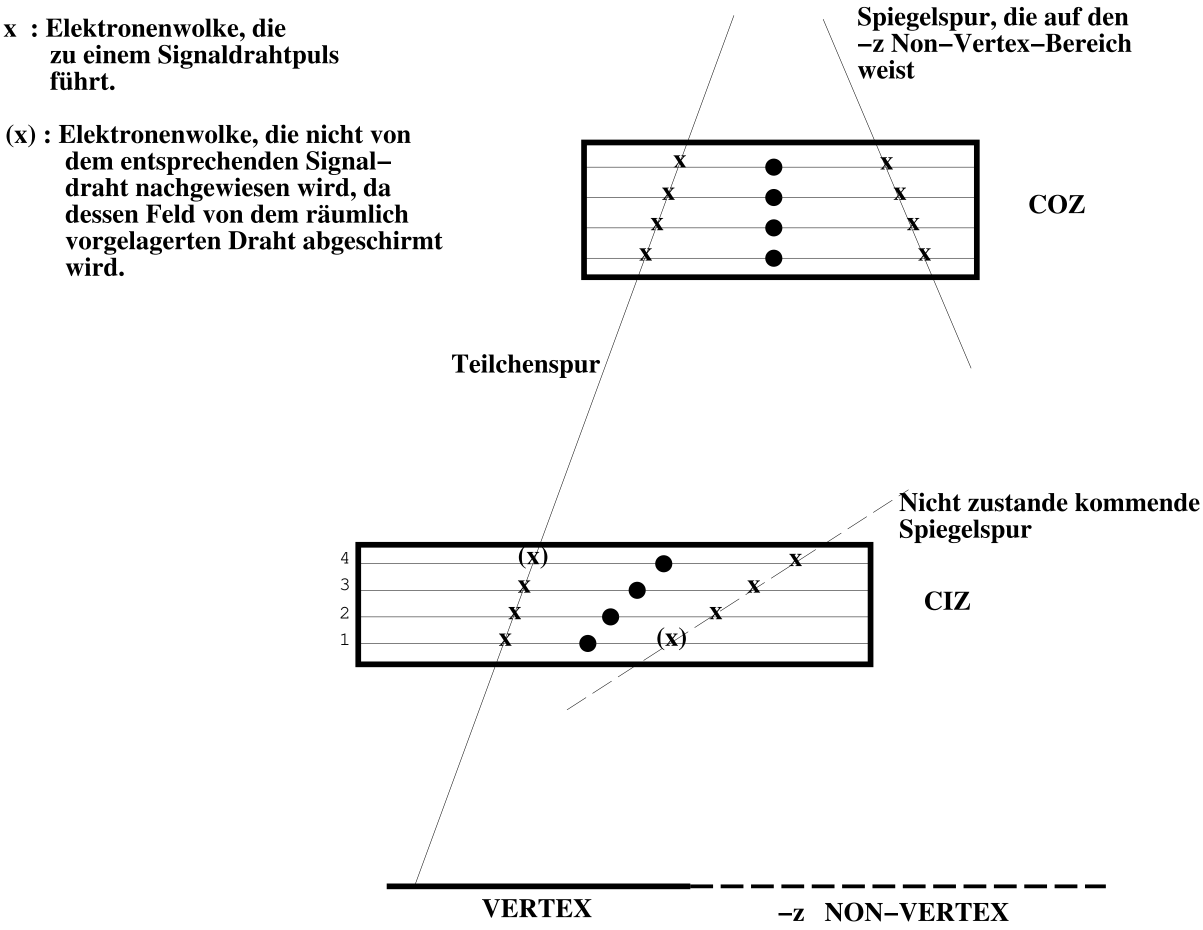

Abbildung 2.6: *Spiegelspuren in CIZ und COZ*

Driftkammer CIZ werden bei der Spursegmentsuche nur drei Signaldrahtpulse benutzt. Je nach Fehlen eines Signaldrahtpulses in Draht 1 oder 4 ist die Teilchenspur eindeutig einer Seite der Driftzelle zuordbar.

In der Driftkammer COZ können nur Teilchenspuren, welche die das elektrische Feld begrenzende Kathodenebene schneiden, eindeutig einer Seite der jeweiligen Driftzelle zugewiesen werden, da sie Teilchen in zwei benachbarten Driftzellen ionisieren. Nur bei dieser speziellen Art von Teilchenspuren ist es aufgrund der Koinzidenz der Signaldrahtpulse in den benachbarten Driftzellen möglich, den Ort der Teilchenspur eindeutig zu bestimmen.

Kapitel 3

Trigger

Ein Trigger hat die Aufgabe, Ereignisse, die im Detektor stattfinden, zu erkennen und eine Reaktion auszulösen. Dabei soll er die Eigenschaft haben, physikalisch interessante Ereignisse (im folgenden Physikereignisse genannt) von Untergrundereignissen zu trennen und, bei HERA, die Rate von sehr häufig auftretenden Physikereignissen zu senken. HERA wurde gebaut um sehr hohe Viererimpulsüberträge zu ermöglichen. Bei Ereignissen mit hohem Q^2 sind $charged-current$ und $neutral-current$ - Reaktionen durch die in den Kalorimetern deponierte hohe Energie zu erkennen und von Untergrund zu trennen. Bei $neutral-current$ - Reaktionen mit hohem Q^2 kommt noch hinzu, daß das aus dem Elektronenstrahl herausgelenkte Elektron vom zentralen (siehe Abbildung **??** $\boxed{4}$) oder hinteren (siehe Abbildung **??**) elektromagnetischen Kalorimeter (BEMC[1]) erkannt werden kann und sie so von Untergrundereignissen zu unterscheiden sind. Interessante Reaktionen wie z.B. die Photon-Gluon-Fusion (siehe Kapitel 6.5.1) haben kleine Q^2 und sind so nicht auf die oben beschriebene Weise erkennbar. Hier muß durch Spurtrigger die Ereignistopologie möglichst genau gemessen werden um so Physikereignisse von Untergrundereignissen unterscheiden zu können.

Der Untergrund wird bei H1 in der Hauptsache hervorgerufen durch:

- Wechselwirkung von defokussierten Protonen und Elektronen mit dem Strahlrohr (=Strahl-Wand-Ereignis[2]),
- Wechselwirkung der Protonen und Elektronen mit dem Restgas (=Strahl-Gas-Ereignis[3]),
- Synchrotron-Strahlung
- und kosmische Strahlung.

[1]BEMC = Backward Elekromagnetic Calorimeter
[2]Strahl-Wand = *beam-wall*
[3]Strahl-Gas = *beam-gas*

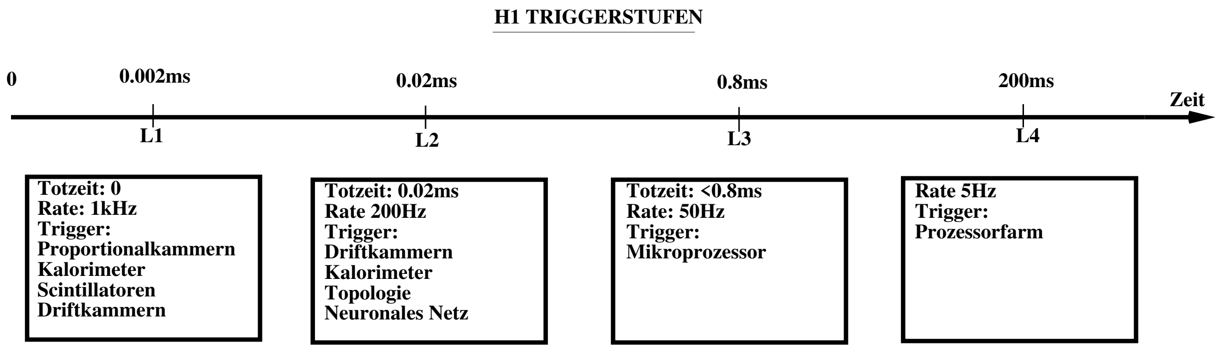

Abbildung 3.1: *Die vier Triggerstufen bei H1*

Die Untergrundrate bei H1 liegt im 100kHz Bereich, die Rate der Physikereignisse beträgt ca. 1kHz, was für die Auslese bei H1 selbst bei vollständiger Unterdrückung der Untergrundereignisse zu hoch ist. Bei einer Auslesegeschwindigkeit von 3MB/s und einer Rohdatenmenge von ca. 100kB pro Ereignis ist deshalb die Unterdrückung des Untergrundes und das Herunterskalieren von Physikereignissen mit hohen Raten eine wichtige Aufgabe. Sie ist bei H1 in vier Triggerstufen gelöst.

Im folgenden wird das H1-Triggersystem im Abschnitt 3.1 skizziert und anschließend einige Spur- und Untergrundtrigger im Abschnitt 3.2 dargestellt. Im Abschnitt 3.3 wird der R-Z-Trigger ausführlich beschrieben.

3.1 Das H1-Triggersystem

Das H1-Triggersystem, das die Ereignisrate auf verarbeitbare 5Hz reduziert, ist in vier Stufen (engl.= Level) unterteilt. Diese Stufen werden L1, L2, L3 und L4 genannt und haben verschiedene Aufgaben und Totzeiten (siehe Abbildung **??**). Mit höherer Stufe können zunehmend komplexere Bedingungen untersucht werden, da jede Stufe zusätzlichen Untergrund erkennt und die Triggerrate nach jeder Stufe abnimmt, so daß mehr Bearbeitungszeit zur Verfügung steht.

3.1.1 Die erste Triggerstufe

Die erste Stufe des Triggers besteht aus einer Zusammenfassung der Triggerelemente. Triggerelemente sind Informationen, die von den einzelnen L1-Triggern zur Verfügung gestellt werden. Die Triggerelemente werden von einem Zentralen Trigger Kontroller (CTC[4]) logisch so zu Subtriggern zusammengefaßt, daß sie auf bestimmte Physikklassen reagieren.

[4]CTC = Central Trigger Controller

Damit die L1-Trigger in der Lage sind, ein Ereignis vollständig zu erfassen, bildet der CTC die Triggerentscheidung erst nach 22 10MHZ Perioden. Für L1-Trigger, die ihre Entscheidung in kürzerer Zeit bilden können, ist im CTC eine Verzögerung einstellbar.

Die Trigger der ersten Stufe arbeiten totzeitfrei, indem sie alle eingehenden Daten aufnehmen und auf deren Basis alle 96ns ihre Triggerelemente aktualisieren. Der RZ-Trigger nimmt alle eingehenden Signaldrahtpulse in Schieberegister auf, die alle 48ns aktualisiert werden. In diesen Schieberegistern werden die Signaldrahtpulse der letzten 12/16 (COZ/CIZ) 10MHz Perioden gespeichert. Auf ihrer Grundlage werden die RZ-Triggerelemente alle 96ns aktualisiert.

Damit alle Meßdaten der Subtrigger zur Auslese verfügbar sind, wird die Historie dieser Meßdaten in den einzelnen L1-Triggern gespeichert. Der RZ-Trigger ist in der Lage, mit 2kByte-RAM's die Eingangsdaten der letzten 2048 20MHz-Takte aufzuzeichnen. Wird ein Ereignis von der ersten Stufe als ein physikalisch wertvolles Ereignis erkannt, wird die Dateneinlese gestoppt, und die aktuellen Werte werden gespeichert - die Totzeit beginnt, und die zweite Triggerstufe wird aktiviert.

Triggerelemente und Subtrigger

Jeder L1-Trigger ist in der Lage Statusbits, sogenannte Triggerelemente, an den Zentralen Trigger Kontroller CTC zu senden. Diese Statusbits sind triggerspezifisch und geben Aufschluß über das Erfüllen bestimmter Kriterien durch das Ereignis. Bei Spurtriggern sind es z.B. die Anzahl oder die Richtung der Spuren. Die Statusbits des RZ-Triggers werden in Kapitel 3.3.3 erläutert. Es gibt weit über 100 solcher Triggerelemente, die 1993 logisch zu 127 Subtriggern verknüpft wurden [?]. Ein Beispiel ist der Subtrigger Nr.34, in dem drei Spuren im DC-RΦ-Trigger[5] und das Ansprechen der hinteren Proportionalkammer verlangt werden.

3.1.2 Die zweite Triggerstufe

Die zweite Stufe besteht, wie auch die erste, aus einer festverdrahteten Logik. Sie erhält über einen Parallelbus aus allen Subtriggern Informationen über die Triggerelemente, aus denen mit Hilfe eines parallelen Entscheidungsalgorithmus die Triggerentscheidung der zweiten Triggerstufe gebildet wird. Sie soll ab 1995 aktiviert werden.

3.1.3 Die dritte Triggerstufe

Gleichzeitig mit der zweiten Stufe nimmt auch die dritte Stufe die Arbeit auf. Die dritte Stufe, basierend auf Mikroprozessoren, kann bereits komplexere Bedingungen mit einer Totzeit von bis zu 800μs prüfen. Verwirft die zweite Stufe ein Ereignis, so

[5] Der DC-RΦ-Trigger ist ein Spurtrigger im RΦ-Bereich

bricht die dritte Stufe ihre Untersuchung ab. Die dritte Stufe liest die Ereignisdaten aller Subtrigger aus und gibt die Subsysteme wieder frei, d.h. das nächste Ereignis kann erfasst werden. Falls die dritte Triggerstufe, basierend auf den Triggerelementen aller Subtrigger, das Ereignis als Physik anerkennt, werden diese Daten an die vierte Triggerstufe weitergegeben, ansonsten gelöscht.

3.1.4 Die vierte Triggerstufe

Die Ereignisdaten werden von der vierten Stufe, bestehend aus einer Mikroprozessorfarm, bearbeitet und rekonstruiert, indem unter anderem aus einzelnen Signalen in Driftkammern Spuren gebildet und in den Kalorimetern Zellenergien in Cluster zusammengefaßt werden. Der vierten Triggerstufe liegen als Entscheidungsgrundlage nicht nur die Triggerelemente vor, sondern die gesamten rekonstruierten Daten aus der Auslese des H1-Detektors. Dabei verifiziert die vierte Triggerstufe nur die Entscheidung des auslösenden Subtriggers, d.h. es werden nur die Kriterien für die Physikklasse überprüft, auf die der auslösende Subtrigger reagieren sollte. Wird ein Ereignis auch von der Mikroprozessorfarm als physikalisch interessant betrachtet, so werden die rekonstruierten Daten abgespeichert.

Die Bewertung von Ereignissen durch die vierte Triggerstufe

Die vierte Triggerstufe teilt die Ereignisse aufgrund der ihr vorliegenden Daten aus allen Teilen des Detektors nicht nur in Physik- und Untergrundereignisse ein, sondern macht auch Aussagen über den Grund dieser Einteilung. Ein Grund für ein Physikereignis ist z.B.: eine saubere, auf den Vertex weisende Spur = *goodtrack*; ein Ereignis mit Myonensignatur = *goodmuon*. Auch bei einer Einteilung als Untergrundereignis wird der Grund angegeben (z.B.: Spuren aus dem Nichtvertexbereich = $vertexpos1, vertexpos2, CJCupstream$). Diese Einteilung ist in den abgespeicherten Daten enthalten, kann aber in leichter zu bearbeitender Form durch Softwaresimulation der vierten Triggerstufe [?] erhalten werden.

3.1.5 Die Einteilung in Physikklassen

Nach der vierten Triggerstufe werden alle als Physikereignisse erkannten Ereignisse von einem Softwareprogramm untersucht. Die Aufgabe dieses Softwareprogrammes ist die Einteilung der Ereignisse in Physikklassen (z.B. Klasse 17 ist ein Kandidat für ein J/Ψ-Ereignis).

3.2 Spur- und Untergrundtrigger

3.2.1 Der Z-Vertex-Trigger

Die Aufgabe der Vertexbestimmung in der rz - Ebene im H1-Triggersystem hat bisher der Z-Vertex-Trigger übernommen. Er erhält die Signale aus den Proportionalkammern CIP und COP und rekonstruiert aus den Einträgen Spuren, die auf den Vertex weisen. Die Vertexregion wird vom Z-Vertex-Trigger in 16 Intervalle (sogenannte Bins) mit jeweils 5.4cm Länge unterteilt. In jedem dieser Bins ist eingetragen, wie viele Teilchenspuren in diesem Vertexabschnitt ihren Anfang nehmen. Daraus entsteht ein Vertex-Histogramm mit einer Auflösung von 5.4cm. Spuren aus dem Nicht-Vertex-Bereich werden nicht erkannt.

3.2.2 Der DC-RΦ-Trigger

Der DC-RΦ-Trigger erhält Daten aus einigen Jetkammerdrähten der CJC1 und CJC2. Er rekonstruiert aus den Jetkammersignalen die Teilchenflugbahn in der R/Φ-Ebene und ist so für eine Bestimmung des Ereignisvertex in z-Richtung nicht geeignet.

3.2.3 Der Time of Flight Szintillatortrigger

Am $-z$ - Ende des Detektors wurden segmentierte Szintillatoren so angebracht (siehe Abbildung **??**), daß Teilchen, die aus der $-z$-Richtung außerhalb des Protonenpaketes in den Detektor eindringen, erkannt werden. Diese Szintillatoren sind zweilagig und decken eine große Fläche um die Strahlachse ab. Teilchen, die den Szintillator durchdringen, erzeugen an beiden Szintillatorwänden ein Signal. Durch eine Flugzeitberechnung kann so bestimmt werden, ob ein im Detektor gefundenes Teilchen die Szintillatoren durchdrungen hat, oder nicht, d.h. entlang des Protonenstrahls in den Detektor eingedrungen ist. Ein Teilchen, das durch die Szintillatoren in den H1-Detektor gelangt ist, wird als Untergrund erkannt.

3.3 Der RZ-Trigger

Der RZ-Trigger ist ein Trigger der ersten Stufe und wertet die Signale aus den Driftkammern CIZ und COZ aus. Er soll als Spurtrigger arbeiten, d.h. er soll die Teilchenflugbahn isolierter Teilchen und den Ereignisvertex möglichst genau bestimmen können. Dazu gehört, daß er klassifizieren kann, ob eine Spur aus dem Vertexbereich stammt oder ob sie als eine Untergrundspur zu werten ist.

Der RZ-Trigger verbessert die Vertexauflösung auf 5mm, d.h gegenüber dem Z-Vertex-Trigger um den Faktor 10, und kann Untergrundereignisse erkennen, die im $-z$ - Bereich

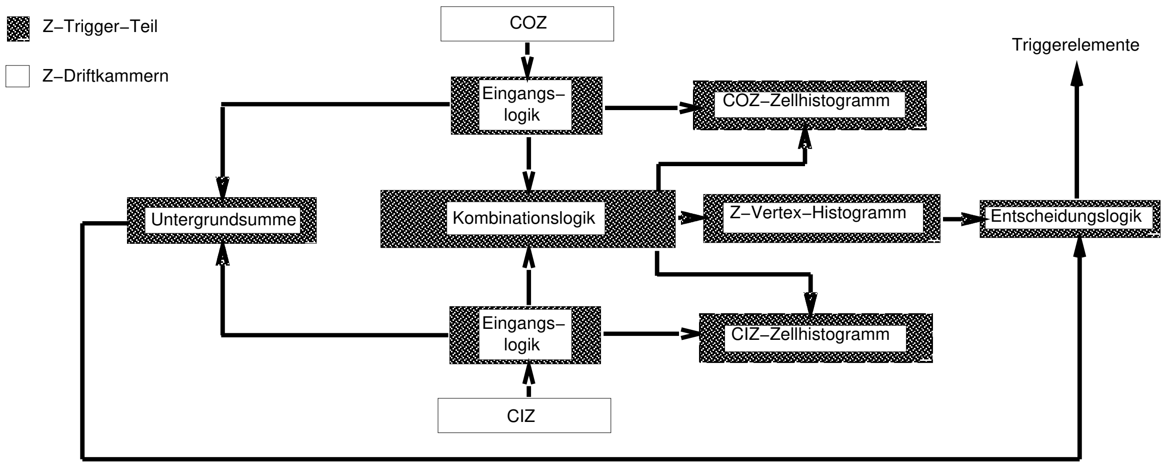

Abbildung 3.2: *Funktionseinheiten des RZ-Triggers*

außerhalb des Vertex stattgefunden haben. Die Triggerentscheidung des RZ-Triggers beinhaltet gewichtet Vertexspurbedingung, Vertex- und Nicht-Vertex-Untergrund, um so schon auf der ersten Triggerstufe als Triggerelement eine eigene komplexe Triggerbedingung anbieten zu können. Zusätzlich sollen Informationen über Vertexspuren und Untergrundspuren zur Einbindung in Triggerelemente an den CTC weitergegeben werden.

Im folgenden werden zuerst Funktionsprinzip und Funktionseinheiten des RZ - Triggers vereinfachend erläutert und die Vorgänge in den einzelnen Funktionseinheiten genau beschrieben.

3.3.1 Funktionsprinzip

Der RZ-Trigger erhält die Signaldrahtpulse aus den Driftkammern CIZ und COZ. Die Signaldrahtpulse werden in primäre Schieberegister geführt, wo ein Abbild der jeweiligen Driftzelle entsteht (siehe Abbildung **??**a). Diese Schieberegister werden auf Pulskoinzidenzen untersucht, aus denen ein Spursegment[6] rekonstruierbar ist. So können alle vom Vertexbereich ausgehenden sowie alle aus dem $-z$-Bereich stammenden Spursegmente erkannt werden. Spursegmente, deren Ursprung im Vertex liegt, werden in sekundäre Schieberegister gefüllt, wo Spursegmente aus CIZ und COZ, die auf den gleichen Vertexabschnitt zeigen, zu Teilchenspuren rekonstruiert werden (siehe Abbildung **??**). Aus den rekonstruierten Teilchenspuren wird ein z - Vertexhistogramm erstellt.
Alle Spursegmente aus dem $-z$ - Bereich des Protonenstrahls werden gewichtet zu einer Untergrundsumme aufsummiert und bilden so ein Maß für den Untergrundanteil eines Ereignisses. Aus dem Vertexhistogramm und der Untergrundsumme wird dann die RZ - Triggerentscheidung gefällt.

[6]Ein Spursegment ist der in einer Driftzelle nachgewiesene Abschnitt einer Teilchenspur

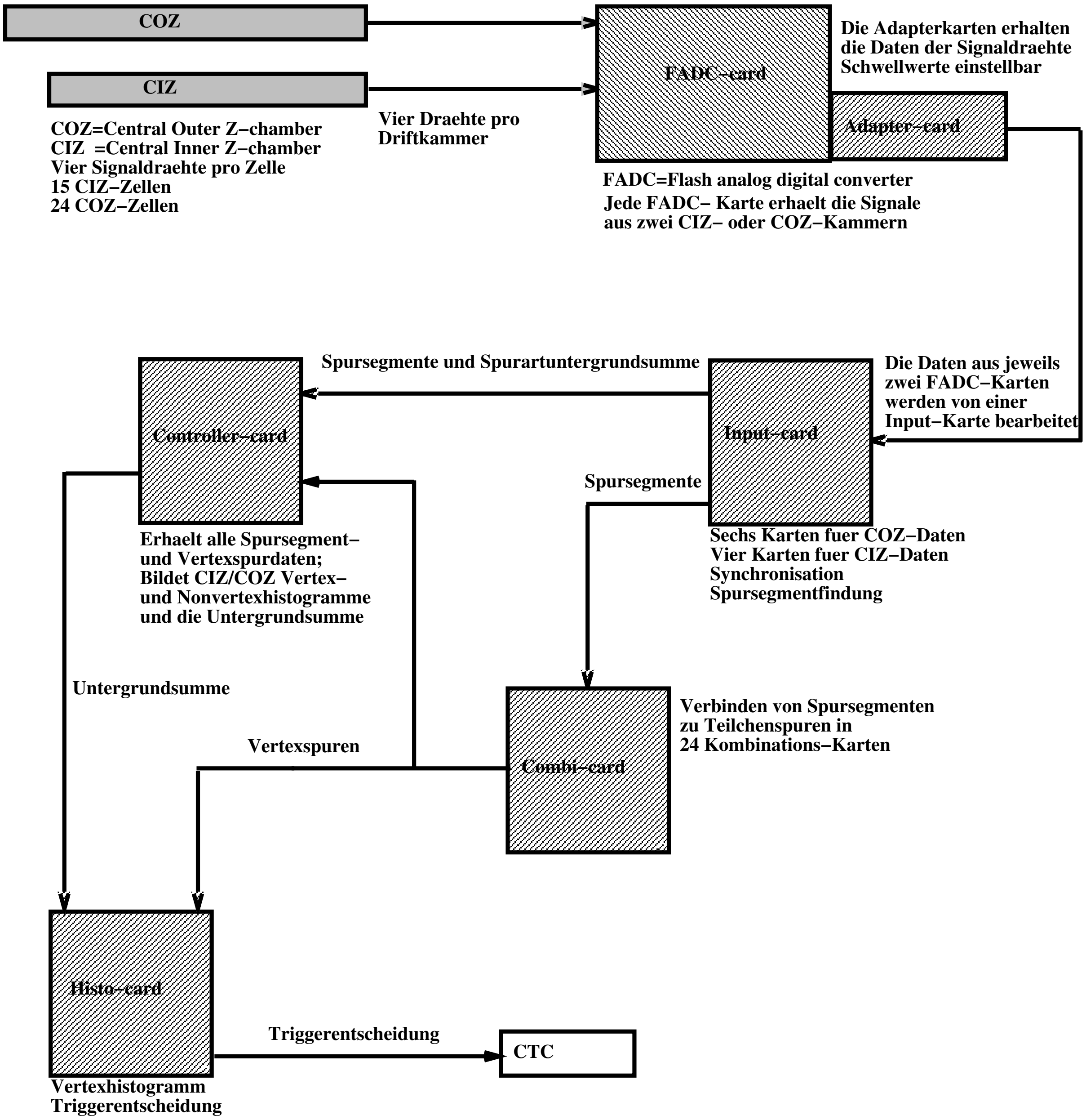

Abbildung 3.3: *Die Signalwege im RZ-Trigger*

3.3.2 Funktionseinheiten des RZ-Triggers

Der RZ-Trigger teilt sich funktional und konstruktiv in Eingangslogik (*inputcards*), Kombinationslogik (*combinationcards*), Histogrammlogik (*histogramcard*) und Untergrundsummation auf der Kontroller-Karte (*controllercard*) auf (siehe Abbildung **??**).

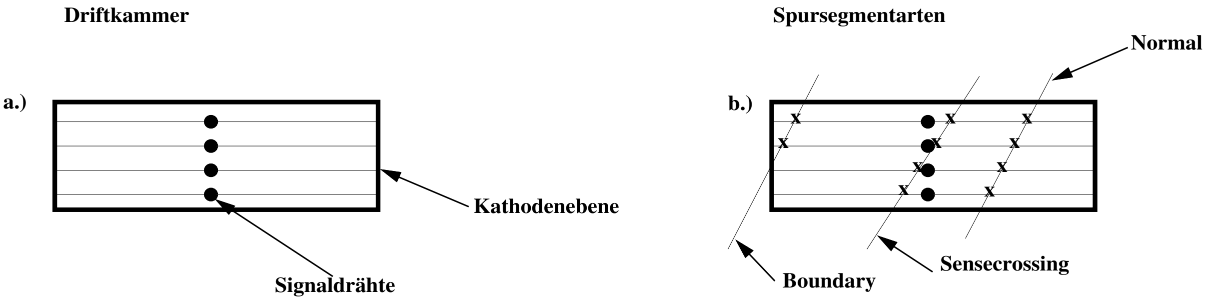

Abbildung 3.4: *a.) schematische Abbildung einer Driftzelle; b.) Definition zur Nomenklatur der Spursegmentarten*

FADC- und Adapter- Karten

Die Signale der Signaldrähte von CIZ und COZ werden aus den Driftkammern in die FADC[7]-Karten geführt (siehe Abbildung **??**). Dort werden sie vorverstärkt und an die Adapter-Karten des RZ-Triggers weitergeleitet, wo sie mit einer einstellbaren Schwelle verglichen werden, um das Grundrauschen der Driftkammern zu eliminieren. Falls das Signal größer ist als diese Schwelle, so wird ein Digitalpuls an die Input-Karten des RZ-Triggers geleitet, wo alle eintreffenden Pulse auf 20MHz synchronisiert werden.

Die Input-Karten

Im RZ-Trigger gibt es zehn Input-Karten, von denen jede die Daten aus vier Driftkammerzellen verarbeiten muß. Sie heißen CIZ1-CIZ4 und COZ1-COZ6. Diese Input-Karten erhalten die digitalisierten Signaldrahtpulse aus den Adapter-Karten und synchronisieren sie auf 20MHz. Diese Abtastfrequenz der Signaldrahtpulse bedingt bei einer Driftgeschwindigkeit von $50mm/\mu s$ eine Ortsauflösung der Teilchenspur von 2.5mm. Eine bessere Ortsauflösung ist aufgrund der begrenzten Anzahl zu realisierender UND-Gatter nicht möglich gewesen.
Die Pulse aus einem Signaldraht werden in jeweils ein primäres Schieberegister gefüllt, das ebenfalls mit 20MHz getaktet ist. Jeweils vier Schieberegister, die Signaldrahtpulse aus den vier Signaldrähten einer Driftzelle enthalten, bilden so ein Abbild einer Driftzelle (siehe **??**). Diese Schieberegister werden parallel (siehe Abbildung **??**) mit Hilfe von logischen UND-Gattern auf Pulskoinzidenzen untersucht. Es gibt mindestens 230 logische UND-Gatter pro Driftzelle. Sie werden mit Hilfe von programmierbaren LCA[8]-Bausteinen realisiert. Wird eine Koinzidenz von Signaldrahtpulsen gefunden, ergibt sich daraus ein Spursegment, über das folgende Informationen weitergegeben werden:

[7]FADC=Flash Analog Digital Converter; dies sind sehr schnelle Analog - Digital - Wandler, die die Signaldrahtpulse aus den Driftzellen für die H1-Auslese digital aufbereiten

[8]LCA=Logic Cell Arrays; dies sind logische Bausteine, in denen durch einladbare Softwarekonfigurationen bis zu 740 logische Funktionen realisierbar sind

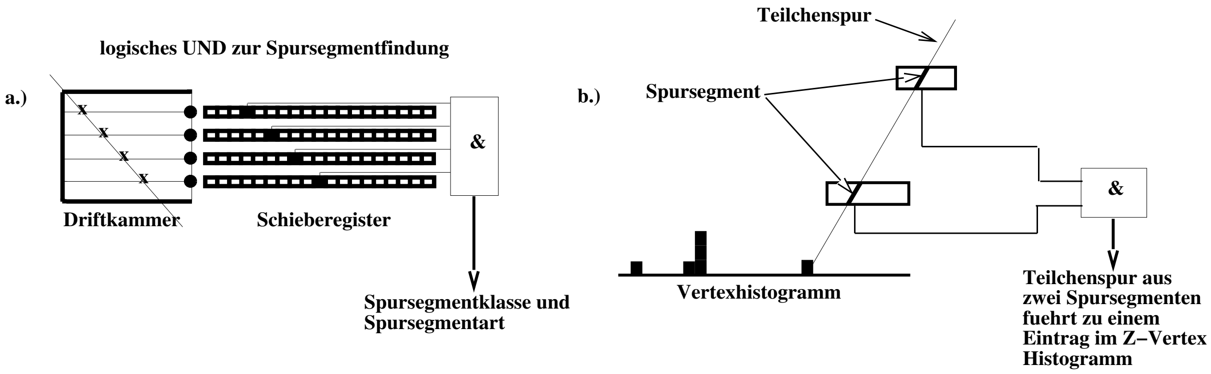

Abbildung 3.5: *a.) Spursegmentfindung mit logischen UND-Gattern in den Input-Karten; b.) Teilchenspurfindung aus Spursegmenten mit logischen UND-Gattern in den Kombinationskarten*

- Die Driftzelle der jeweils anderen Driftkammer, auf die das Spursegment weist;
- Die Information, ob das Spursegment auf den Vertex - Bereich oder den $-z$ - Bereich des Protonenstrahls weist (= Klasse des Spursegmentes);
- Die Art des Spursegments, d.h. die Unterteilung der Spursegmente in:
  - Normale Spuren (*normal tracks*), die weder die Signaldrahtebene noch die Kathodenebene schneiden;
  - Spuren, die die Signaldrahtebene schneiden (*sensecrossing tracks*);
  - und Spuren, die die Kathodenebene schneiden (*boundary tracks*);

  (siehe Abbildung **??**b)
- Die genaue Ortskoordinate des Spursegmentes auf einem bestimmten Signaldraht (dem sogenannten Referenzdraht).

Die Signaldrahtpulse werden zur Auslese in internen Speichern (2kByte-RAM's) 2048 20MHz-Takte lang gespeichert. Zusätzlich werden alle Spursegmente aus der hinteren Hälfte der Driftkammern (CIZ Zellen 1-9; COZ Zellen 1-12), die aus einem Bereich mit kleinerem z als der Vertexbereich stammen, nach Spurart getrennt analog zu einer Teiluntergrundsumme (siehe Kapitel 4.1.1) aufsummiert. Diese Teiluntergrundsummen werden von allen Input-Karten, nach Spurart und nachweisender Kammer getrennt, über die interne Verdrahtung an die Kontroller-Karte geschickt. Für die Teiluntergrundsummen einer Spurart gibt es nur zwei Verbindungen (eine für die Driftkammer CIZ, eine für die Driftkammer COZ), d.h. auf einer Verbindung liegt die Summe aller Teiluntergrundsummen einer Spurart aus einer Driftkammer.

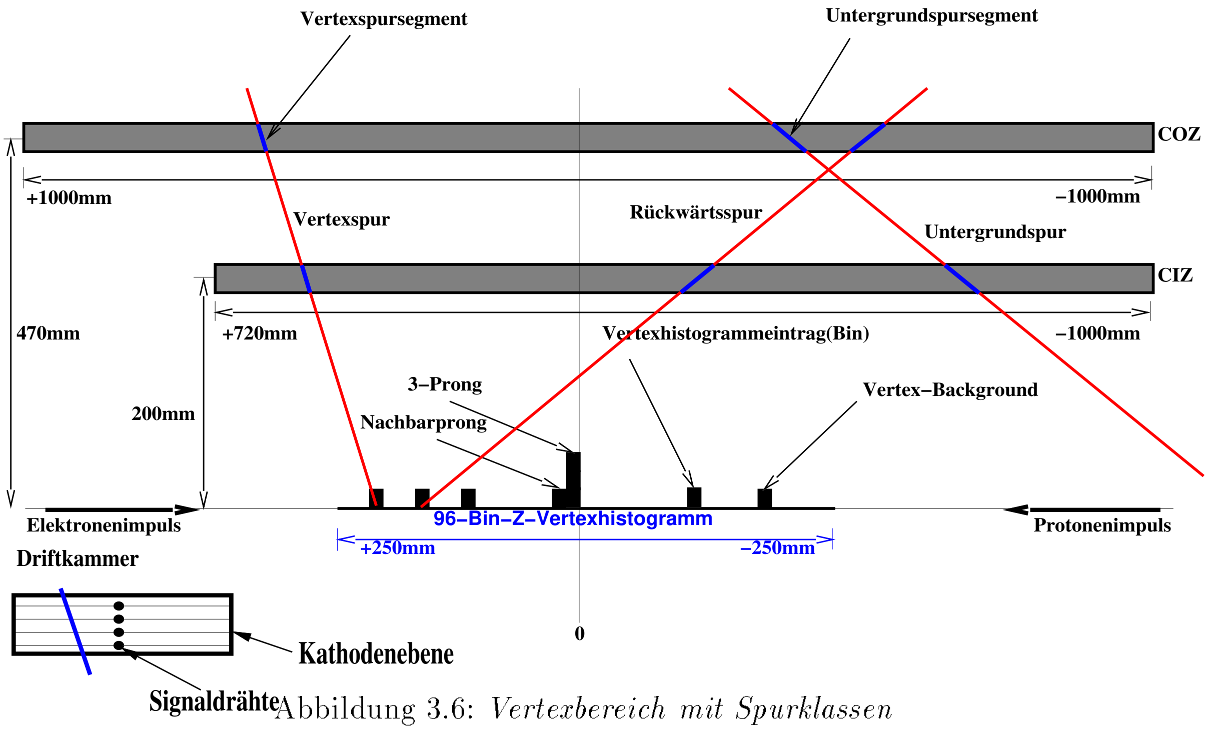

Abbildung 3.6: *Vertexbereich mit Spurklassen*

Die Kontroller-Karte

Alle Spursegmente werden an die Kontroller-Karte weitergegeben (siehe Abbildung **??**), wo sie in Zellhistogrammen je nach Klasse des Spursegmentes eingetragen werden. Die Summen der nach Spurart und nachweisender Kammer getrennten Teiluntergrundsummen aus den Input-Karten werden auf der Kontroller-Karte mit verschiedenen Gewichten (siehe Kapitel 5) zur Untergrundsumme aufsummiert. Die Kontroller-Karte ist außerdem für die Steuerung des gesamten RZ-Trigger-Systems bei der Datenauslese zuständig.

Die Kombinations-Karten

Es gibt 24 Kombinationskarten, die jeweils Verbindungen zwischen Spursegmenten einer COZ-Driftzelle und 6 CIZ-Driftzellen suchen. Die Kombinations-Karten erhalten die Information über alle Spursegmente, die auf den Vertex weisen (siehe Abbildung **??**) und füllen diese in sekundäre Schieberegister. Diese Schieberegister werden mit 10MHz getaktet, da eine Taktfrequenz von 20MHz zu viele LCA - Bausteine zur Realisierung der Koinzidenzbedingung erforderte. Für jede Driftkammer existieren sekundäre Schieberegister, durch die auf den Vertex weisende Spursegmente getaktet werden. Genau 22 10MHZ Perioden nach dem Ereignis entsteht in diesen Schieberegistern ein genaues Abbild der Driftkammern CIZ und COZ, damit die Triggerelemente des RZ-Triggers rechtzeitig für die Auslese des CTC bereitstehen (siehe Kapitel 3.1.1). In den sekundären Schieberegistern wird mit logischen UND-Gattern getestet, ob ein CIZ - Spursegment auf ein COZ - Spursegment weist und umgekehrt (siehe Abbildung **??**b).

Zeigen zwei Spursegmente aufeinander, so wird aus den Ortskoordinaten der Teilchenspur auf den beiden Referenzdrähten der genaue Verlauf der Teilchenspur rekonstruiert. An dem Ort, wo die rekonstruierte Teilchenspur den Vertexbereich schneidet, wird ein Eintrag in das Z-Vertexhistogramm vorgenommen (siehe Abbildung ??b). Das Z-Vertexhistogramm besteht aus 96 Bins, von denen jedes eine Breite von 5mm einnimmt. Das Z-Vertexhistogramm jeder Kontroller-Karte wird auf die selben 96 Drähte der internen Verdrahtung geleitet, d.h. die Einträge in den einzelnen Bins aller Kombinations-Karten werden summiert und bilden das vollständige Z-Vertexhistogramm, das dann der Histogramm-Karte zur Verfügung steht. Zusätzlich wird es für jede Driftzelle einzeln als Zell-Z-Vertexhistogramm an die Kontroller-Karte weitergegeben.

Die Histogramm-Karte

Die Histogrammkarte erhält aus den Kombinations-Karten das vollständige Z-Vertexhistogramm und von der Kontroller-Karte die Untergrundsumme. Aus diesen Informationen wird die Entscheidung getroffen, ob ein Ereignis physikalische Bedeutung hat oder ein Untergrundereignis ist.

Alle Einträge im Z-Vertexhistogramm werden aufsummiert und bilden den Vertexuntergrund. Parallel wird der Eintrag aus jedem Bin des Vertexhistogrammes mit dem seines rechten Nachbarn (siehe Abbildung ??) addiert, um eine kleine Streuung der Einträge eines Ereignisses abzufangen. Hieraus wird ein zweites Histogramm gebildet, in dem die Nachbarsummen eingetragen sind. Von jedem Eintrag aus diesem Histogramm wird die Signifikanz E gebildet, um den Vertexuntergrund mit einzubeziehen:

$$E = H - 0.02 \cdot VU,$$

wobei H der Eintrag im Nachbarsummenhistogramm und VU der Vertexuntergrund ist (siehe Abbildung ??). Der Wert der Signifikanz jedes Eintrages wird über je einen Komparator mit einer Schwelle verglichen, in die der Nicht-Vertex-Untergrund, der Eintrag und ein fest einstellbarer Wert eingeht. Die Schwelle berechnet sich aus:

$$S = a_1 + a_2 \cdot P + a_3 \cdot B,$$

mit
$a_1 = 0.35,$
$a_2 = 0.7,$
$a_3 = 0.02,$
wobei a_1, a_2, a_3 einstellbare Konstanten, B die Untergrundsumme (gemessen in Untergrundspursegmenten) und P der höchste Eintrag aus dem Nachbarsummenhistogramm bedeuten. Die Werte für die Konstanten a_1, a_2 und a_3 ergaben sich aus Anwendung der RZ-Trigger-Simulation auf simulierte $c/\bar{c}$-Ereignisse[9] und Daten aufgenommener $beam - wall$-Ereignisse. Die Einstellungen der Konstanten a_1, a_2 und a_3 ermöglichen,

[9] Alle simulierten Physikereignisse wurden mit PYTHIA [?] erstellt

daß ein Ereignis mit P=2 als höchstem Eintrag und mit $VU < 12$ Vertexspuren als Physikereignis erkannt wird. Ein Ereignis mit einem höchsten Eintrag von P=2 mit einem Vertexuntergrund von VU=9 würde bei mehr als 13 Untergrundspursegmenten nicht mehr als Physikereignis erkannt werden.

Ist der Wert der Signifikanz genau eines Eintrages größer als die Schwelle, so entscheidet der RZ-Trigger, daß ein physikalisch interessantes Ereignis vorliegt. Das heißt, liegt mehr als ein Wert der Signifikanzen über der Schwelle, so wird das Ereignis verworfen, da ein Physikereignis einen eindeutigen höchsten Eintrag haben soll.

3.3.3 Ausgabe des RZ-Triggers

Der RZ-Trigger gibt acht Statusbits an den CTC (Central Trigger Controller) aus, die dieser als Triggerelemente in verschiedene Subtrigger einbinden kann:

- Ein Bit für den Triggerentscheid,
- ein Bit, falls der höchste Eintrag $\geq 1(\equiv 1 - Prong)$ ist,
- ein Bit, falls der höchste Eintrag $\geq 2(\equiv 2 - Prong)$ ist,
- ein Bit, falls der höchste Eintrag $\geq 4(\equiv 4 - Prong)$ ist,
- ein Bit, falls der höchste Eintrag $\geq 6(\equiv 6 - Prong)$ ist,
- ein Bit, falls die Untergrundsumme größer als eine einstellbare Schwelle ist,
- ein Bit, falls die Untergrundsumme größer als eine zweite, höhere einstellbare Schwelle ist (erst ab 1995)
- sowie ein Bit, falls mindestens eine Rückwärtsvertexspur gefunden wurde[10].

[10]Eine Rückwärtsspur ist eine Spur, die von dem Vertexbereich aus durch die Driftzellen 1 bis 12 der Driftkammer COZ in $-z$ - Richtung weist, was zur Erkennung eines $b\bar{b}/c\bar{c}$ - Ereignisses wichtig ist

Kapitel 4

Der Untergrundtrigger

Der Untergrundtrigger ist ein Teil des RZ-Triggers. Er soll Ereignisse erkennen, die im $-z$-Bereich des Protonenstrahls stattfinden (=Untergrundereignisse). Dies geschieht mit Hilfe einer Untergrundsumme, die ein Maß für die Anzahl aller Spursegmente ist, die aus dem $-z$-Bereich des Protonenstrahles und nicht aus dem Vertexbereich stammen. Die Information über den Untergrund gibt der Untergrundtrigger sowohl an den CTC (zur Aufnahme in andere Subtrigger) als auch an die eigene Histogrammlogik, wo der RZ-Triggerentscheid gefällt wird.
In Abschnitt 4.1 wird zuerst erklärt, wie die Untergrundsumme gebildet wird, und in Abschnitt 4.2 wird beschrieben, wie die Untergrundsumme mit Hilfe einer Software - Simulation berechnet wurde.

4.1 Die Bildung der Untergrundsumme

Die Untergrundsumme wird in drei Schritten gebildet, die im folgenden erklärt werden. Zuerst werden alle Spursegmente aus dem $-z$-Bereich des Protonenstrahls nach Spursegmentart getrennt auf der Input-Karte zur Teiluntergrundsumme aufsummiert. Auf der Kontroller-Karte werden diese Teiluntergrundsummen gewichtet zur Einzeluntergrundsumme aufsummiert und die letzten 25 Einzeluntergrundsummen gespeichert. Die Untergrundsumme bildet sich aus der Summe über die letzten 25 Einzeluntergrundsummen.

4.1.1 Bildung der Teiluntergrundsumme

Die Teiluntergrundsumme wird auf den Input-Karten gebildet. Dort werden in den LCA's eingehende digitale Signaldrahtpulse auf Koinzidenzen überprüft und Informationen über Spursegmente in Form von Ausgangsbits ausgegeben. Spursegmente, die ihren Ursprung in $-z$-Richtung außerhalb des Vertexbereiches haben und in der hinteren Hälfte ($-z$-Bereich) der Driftkammern CIZ und COZ (CIZ Zellen 1-9; COZ Zellen 1-12) nachgewiesen werden, werden nach Spursegmentart getrennt. Für jedes dieser Spursegmente wird ein 5V - Bit an einen Summierverstärker angelegt. Es gibt auf jeder Input-Karte drei dieser Summierverstärker, die jeweils alle Spursegmente einer Spurart zu einer Teiluntergrundsumme aufsummieren. Diese Teiluntergrundsummen werden von allen Input-Karten, nach Spurart und nachweisender Kammer getrennt, über die interne Verdrahtung an die Kontroller-Karte geschickt (siehe Abbildung **??**). Für die Teiluntergrundsummen einer Spurart gibt es nur zwei Verbindungen (eine für die Driftkammer CIZ, eine für die Driftkammer COZ), d.h. auf einer Verbindung liegt die Summe aller Teiluntergrundsummen einer Spurart aus einer Driftkammer.

Es gibt zwei Gründe dafür, daß nur Spursegmente aus den Driftkammern der $-z$-Hälfte zur Bildung der Teiluntergrundsumme herangezogen werden:

- Physikereignisse finden im Vertexbereich statt. Durch den hohen Impuls des Protons gehen die meisten Spuren der entstandenen Teilchen in den vorderen Bereich. Dort könnten durch Fehlkombinationen Untergrundspuren entstehen.
- Es existieren in den Input-Karten-LCA's nur logische UND-Gatter zur Findung von Spursegmenten, deren Einfallswinkel in die Driftkammern größer ist als 20°. Untergrundereignisse, deren Teilchenbahnen so flache Einfallswinkel haben, daß noch in den vorderen Driftkammern Spursegmente auffindbar wären, können so gar nicht nachgewiesen werden. Auch wäre die Unterteilung der, für die vorderen Driftzellen, aus $-z$-Richtung kommenden Spursegmente in Vertex- und Untergrund-Spursegmente aufgrund der ähnlichen Einfallswinkel nicht exakt möglich.

4.1.2 Bildung der Einzeluntergrundsumme

Die nach nachweisender Kammer (CIZ oder COZ) und nach Spursegmentart getrennten Teiluntergrundsummen aus den Input-Karten werden auf der Kontroller-Karte aufsummiert (siehe Abbildung **??** und **??**). Bei dieser Summation können den Teiluntergrundsummen der Spursegmentarten verschiedene Gewichte beigemessen werden. Die Summation geschieht mit Hilfe von sechs Summierverstärkern, deren Gewichte über Summierwiderstände eingestellt werden können (siehe Abbildung **??**). Auf die Einstellung der Gewichte wird in Kapitel 5 und 6 näher eingegangen.

4.1.3 Bildung und Ausgabe der Untergrundsumme

Es dauert 25 (CIZ) bzw. 19 (COZ) 20MHz-Zyklen, bis die am weitesten vom Signaldraht entfernten, durch ein Teilchen erzeugten Ladungswolken in den Driftkammern

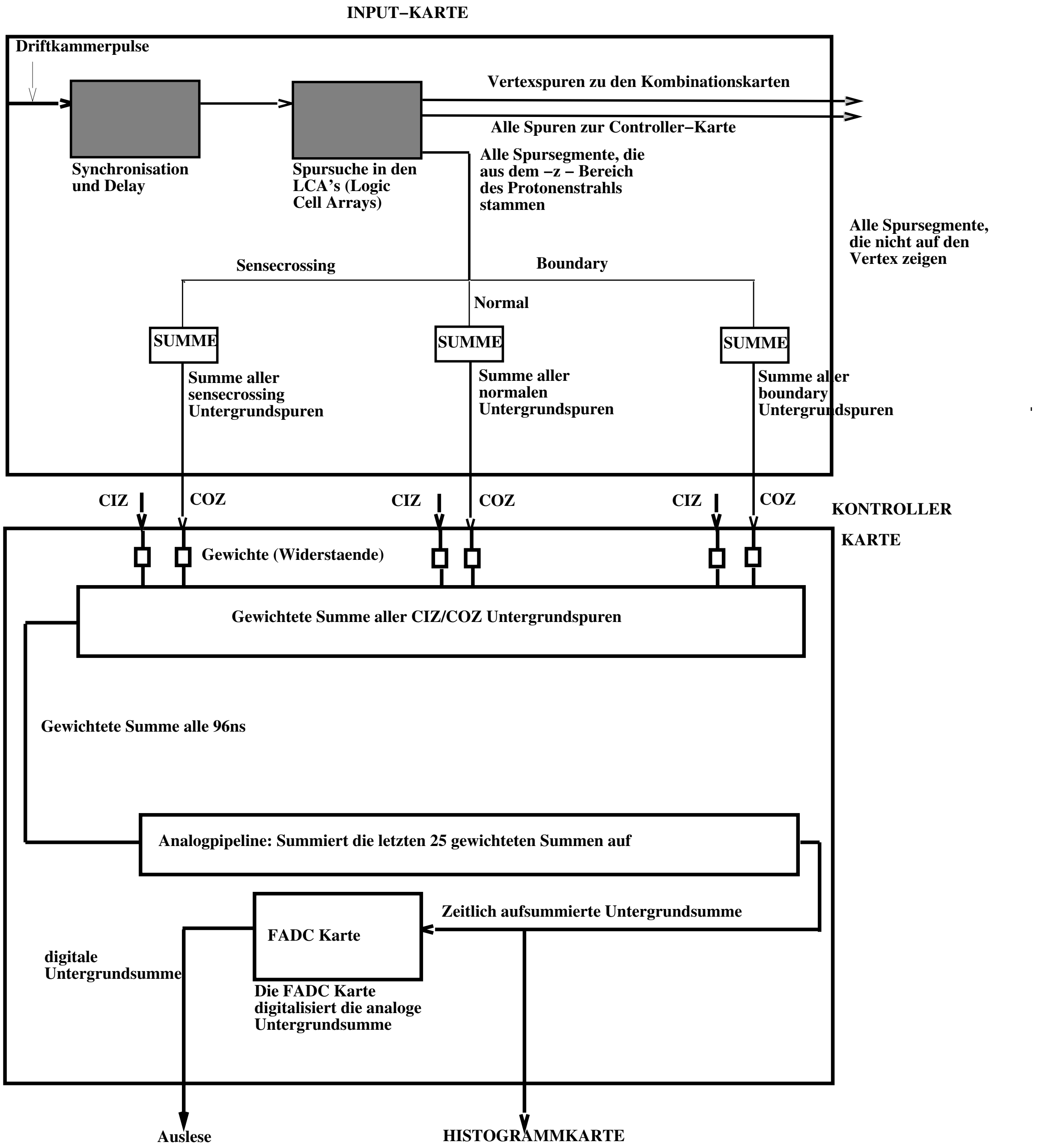

Abbildung 4.1: *Die Bildung der digitalen Untergrundsumme*

die Signaldrähte erreichen. Da die Eingangslogik erst dann alle Spuren des Ereignisses erkennen kann, werden die Einzeluntergrundsummen der letzten 25 20MHz - Perioden gespeichert und zur Untergrundsumme aufsummiert (siehe Abbildung **??**). Diese Summationen werden analog in der sogenannten Analogpipeline durchgeführt. Die Analogpipeline besteht aus 28 $sample-and-hold$-Bausteinen[1]. Drei dieser Bausteine dienen zur Synchronisation der Eingangsdaten auf 10 MHz. Da die $sample-and-hold$-Bausteine zweiflankengesteuert sind, erfolgt die Zustandsänderung an den Ausgängen mit 20 MHz. Die $sample-and-hold$-Bausteine sind in Reihe geschaltet, d.h. der erste Baustein enthält die aktuelle, der letzte Baustein beinhaltet die 25 20MHz - Perioden alte Einzeluntergrundsumme. Um die Summation durchführen zu können, wird der Inhalt jedes $sample-and-hold$ - Bausteines zu einem Summierverstärker geleitet. Um die so entstandene Untergrundsumme speichern und zu Testzwecken auslesen zu können, wird sie von einem FADC digitalisiert, und die letzten 2048 Werte der Untergrundsumme in einem 2kByte-RAM gespeichert. Die Untergrundsumme wird vor der Digitalisierung abgegriffen und in analoger Form der Histogramm - Karte zugeführt. Auf der Histogramm-Karte wird der Wert der Untergrundsumme von einem Komparator K1 (siehe Abbildung **??**) mit einem einstellbaren Referenzwert verglichen. Ist der Wert der Untergrundsumme größer, so wird das Bit für hohen Untergrund auf eins gesetzt.
Die Untergrundsumme wird in dieser Arbeit immer in FADC-Einheiten gemessen. Der FADC hat acht Bits, um den Wert der Untergrundsumme darzustellen, d.h. er kann als Werte null bis 255 ausgeben.

Einstellbare Parameter bei der Bildung der Untergrundsumme

Es gibt bei der Untergrundsummenbildung mehr als 100 Summierverstärker, deren Summierwiderstände wählbar sind. Die Wichtigsten sind die Summierwiderstände g1-g6 (siehe Abbildung **??**), die die Gewichtung der Teiluntergrundsummen bei der Bildung der Einzeluntergrundsumme bestimmen. Die Wichtung bei der Addition der 25 letzten Einzeluntergrundsummen zur Untergrundsumme ist auch wählbar. Sie wird dazu benutzt, die Signalhöhe der Untergrundsumme so einzustellen, daß sie sich vom Rauschen der Elektronik absetzt.

4.2 Die Simulation der Untergrundsummenbildung

Zur Berechnung der Untergrundsumme sind die Signaldrahtpulse eines Ereignisses aus den Driftkammern CIZ und COZ erforderlich. Diese Signaldrahtpulse sind in den Input-Karten gespeichert. Bei den Testmessungen vom Herbst '93 wurden diese Signaldrahtpulse sowie der Wert der Untergrundsumme ausgelesen. Aus den Signaldrahtpulsen

[1]sample and hold - Bausteine sind Bausteine, die einen Wert bei einem definierten Steuerzustand aufnehmen, speichern und bei einem anderen definierten Steuerzustand diesen Wert wieder ausgeben.

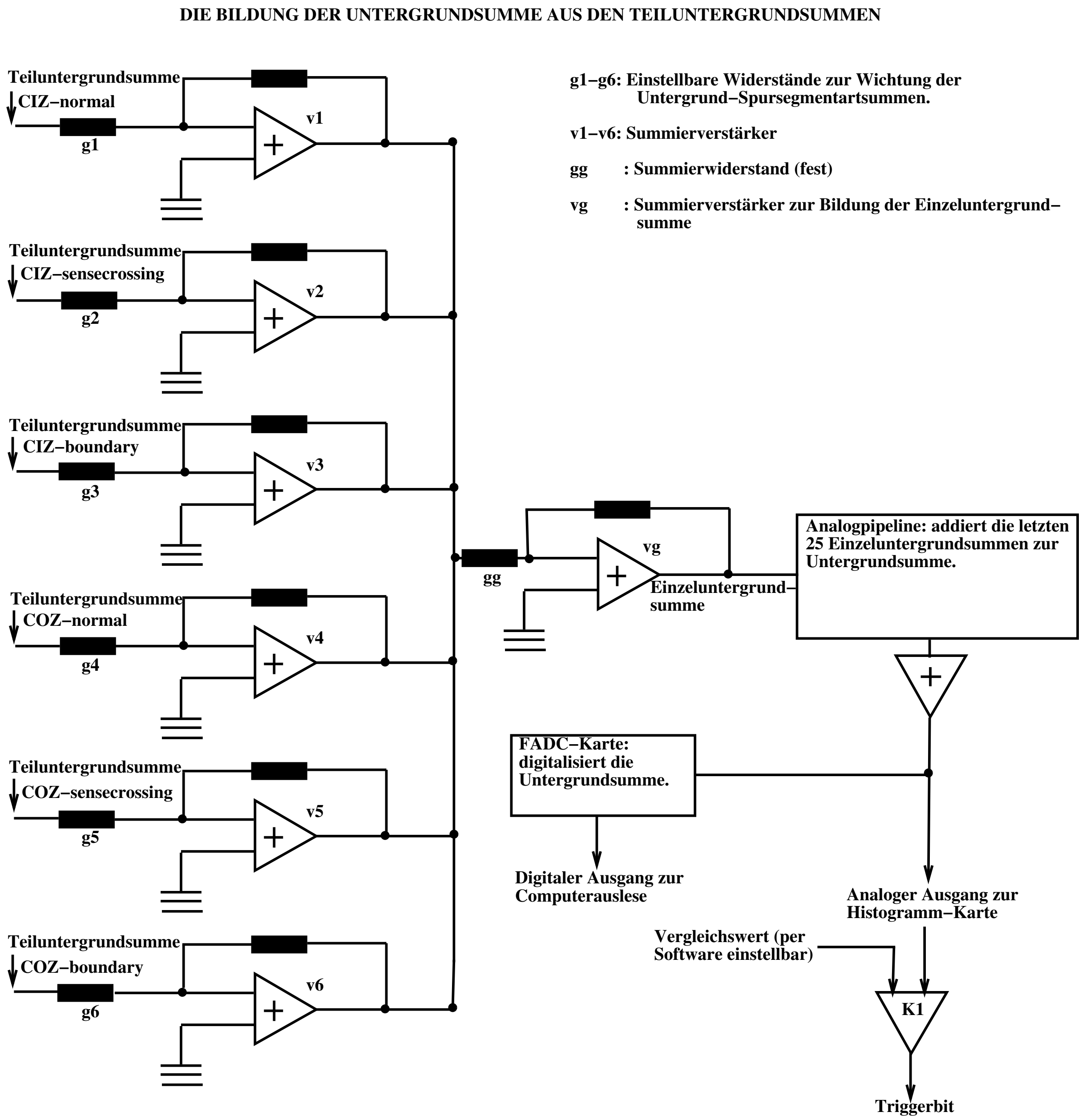

Abbildung 4.2: *Bildung der Untergrundsumme aus den Teiluntergrundsummen*

werden mit Hilfe des RZ-Trigger-Simulationsprogrammes [?] Spursegmente aufgefunden. In dieser Simulation werden die logischen UND-Gatter emuliert, die in der Untergrundtriggerlogik verwendet werden. Aus den in der RZ-Trigger-Simulation gefundenen Spursegmenten werden die aus dem $-z$ - Bereich stammenden Untergrundspursegmente, die in den CIZ Zellen 1-9; COZ Zellen 1-12 nachgewiesen wurden, per Programm [?] zur Untergrundsumme aufsummiert. Dieses Programm zur Berechnung der Untergrundsumme ist eine exakte Simulation der Vorgänge in der Elektronik des RZ-Triggers, d.h. jeder Widerstand und Verstärker ist mit Sättigungsspannung berücksichtigt worden. In Kapitel 6 wird die so von einem Ereignis berechnete Untergrundsumme mit der von diesem Ereignis gemessenen Untergrundsumme verglichen.

Kapitel 5

Messungen und Meßdaten

In diesem Kapitel werden Aufbau und Grundeinstellungen des Untergrundtriggersystems erläutert und alle zu dieser Diplomarbeit gehörigen Messungen mit den entsprechenden Daten dargestellt.

Der RZ-Trigger-Test im Herbst '93

Um erste Erfahrungen mit dem RZ-Trigger unter Laufbedingungen zu erhalten und die Bildung der Untergrundsumme zu untersuchen, wurde im Herbst '93 ein Testlauf mit dem noch nicht vollständigen RZ-Trigger durchgeführt.

Ziel der Messungen

Bei diesem ersten Test des RZ-Triggers sollte die Datennahme des RZ-Triggers aus den Driftkammern getestet sowie die Untergrundsumme und die digitalisierten Signaldrahtpulse von Ereignissen ausgelesen werden. Die gemessenen Untergrundsummen sollten dann mit Untergrundsummen verglichen werden, die aus den gleichen Signaldrahtpulsen und folgender Spursegmentfindung theoretisch berechnet worden sind, um das Verständnis der Elektronik zu verifizieren.
Mit Hilfe des Programmes zur Berechnung von Untergrundsummen sollen dann selektierte Datensätze untersucht werden, um die Eignung des Untergrundtriggers zur Untergrunderkennung abschätzen zu können.

5.1 Das Meßsystem

Der Meßaufbau ist in Abbildung **??** dargestellt. Im RZ-Trigger waren zum Zeitpunkt der Testmessungen nur die Input-Karten, die Kontroller-Karte und ein Prototyp der Histogramm-Karte enthalten. Auf den Input-Karten konnten aufgrund fehlender Konfigurationen für die LCA-Bausteine CIZ-*sensecrossing* und COZ-*boundary*-Spursegmente nicht erkannt werden. Aus diesem Grund hat der RZ-Trigger dem CTC

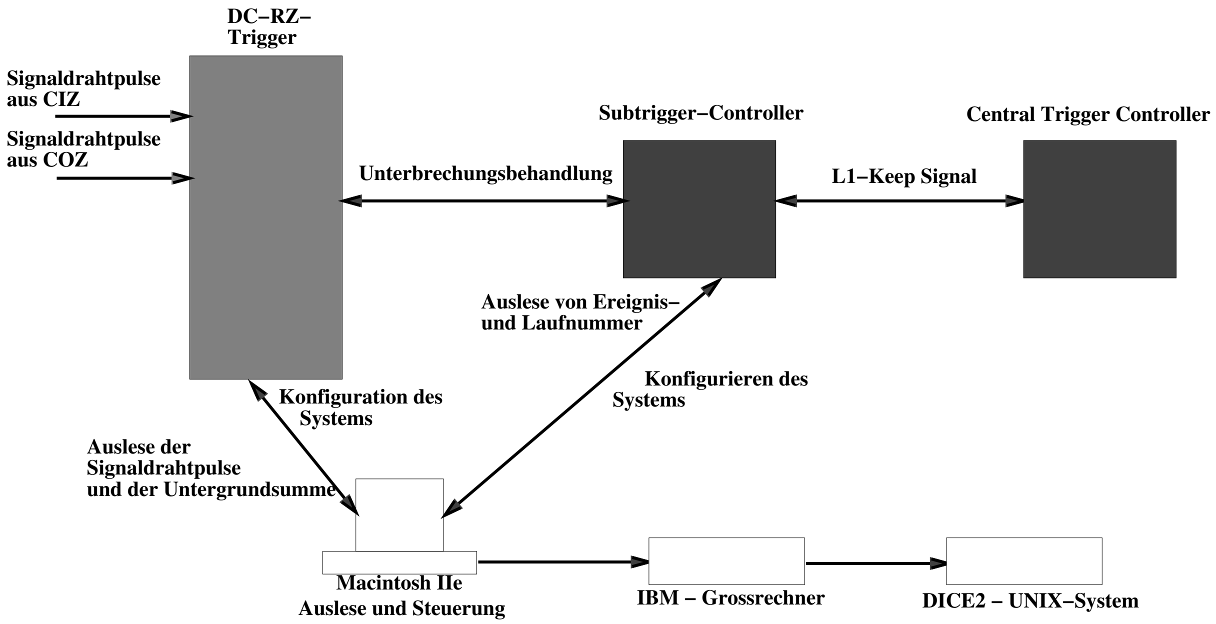

Abbildung 5.1: *Das Meßsystem*

noch keine Ausgangsbits als Triggerelemente zur Verfügung gestellt. Die Auslese der Signaldrahtpulse und der Untergrundsumme erfolgte auf das $L1 - Keep-$Signal des CTC, das an die Subtrigger-Controller (STC's) aller L1-Trigger weitergegeben wird, falls ein Subtrigger ein Ereignis als Physikereignis erkannt hat. Die Aufgabe der STC's besteht in der Regelung der Kommunikation zwischen dem CTC und dem jeweiligen L1-Trigger. Falls ein STC das $L1-Keep-$Signal erhält, stoppt er den an ihn angeschlossenen L1-Trigger, bis die Auslese der relevanten Daten aus allen L1-Triggern beendet ist. Der RZ-Trigger war an diese offizielle Auslese noch nicht angeschlossen, sondern startete mit dem CTC-Signal eine eigene Auslese, die ca. 1s dauerte, auf die Festplatte eines Macintosh. Diese extrem lange Totzeit hatte zur Folge, daß im Vergleich zur H1-Datennahme nur wenige Ereignisse aufgenommen wurden. Die Signaldrahtdaten und die Untergrundsumme aller aufgenommenen Ereignisse wurden zur Weiterverarbeitung auf die DESY-IBM-Großrechenanlage und das H1-UNIX-System DICE2 übertragen.

5.2 Aufgenommene Daten

Zuerst wurde von jedem Signaldraht einmalig

- die Pulsform der Signaldrahtpulse
- und das Rauschen auf den einzelnen Signaldrähten

vermessen. Von jedem Ereignis wurde

- die Laufnummer (= $RunNumber$),
- die Ereignisnummer (= $EventNumber$),
- die Untergrundsumme
- und die digitalisierten Signaldrahtpulse

aufgezeichnet.

5.2.1 Die Pulsform der Signaldrahtpulse

Die Signaldrahtpulse wurden mit einem Digitaloszilloskop an den analogen Ausgängen der FADC-Karten gemessen, wo auch der RZ-Trigger seine Signale abgreift. Ein Beispiel für einen gemessenen Signaldrahtpuls ist in Abbildung **??** dargestellt. Die Signale haben eine Sättigungsspannung von ca. 4000mV, die Anstiegszeit beträgt weniger als 40ns. Die Signaldrahtpulse aus den Driftkammern CIZ und COZ haben prinzipiell die gleiche Gestalt. In Abbildung **??** ist ein Signaldrahtpuls mit normalem Grundrauschen abgebildet. In Abbildung **??** ist ein von Störungen überlagerter Signaldrahtpuls abgebildet. Die beiden unteren Kurven sind die Spannungsverläufe an den Enden der Signaldrähte. Die FADC-Karte subtrahiert die beiden Signale, um das statistische Rauschen herauszufiltern. Das aus der Subtraktion resultierende Signal ist das oberste Signal in den Abbildungen **??** und **??**.

5.2.2 Das Rauschen der einzelnen Signaldrähte in den Driftkammern CIZ und COZ

Gemessen wurde mit einem Oszilloskop an dem analogen Ausgang der FADC-Karte. Die Vermessung zeigte:

- Die Amplitude des Rauschens der Driftkammer CIZ war meistens höher als die des Rauschens in der Driftkammer COZ.
- Das Rauschen der Driftkammer COZ war in höherem Maße von unregelmäßigen Störungen überlagert.
- Bei vielen Signaldrahtpulsen folgten unmittelbar sehr hohe Störungen, die sogenannten Folgepulse (siehe Abbildung **??**).

In den Tabellen 5.1 und 5.2 sind die Amplituden des Signaldrahtrauschens in [mV] für jeden Signaldraht aus allen Driftzellen angegeben. Die Driftzellen CIZ 16 und COZ 17 waren außer Betrieb. Aus diesen Tabellen wird deutlich, daß das Signaldrahtrauschen zu Zellen höherer z-Koordinaten im Mittel zunimmt, da die Leitungen zu den Driftzellen mit höherer Nummer länger sind, weil die Auslese am $-z$-Ende des H1-Detektors erfolgt.

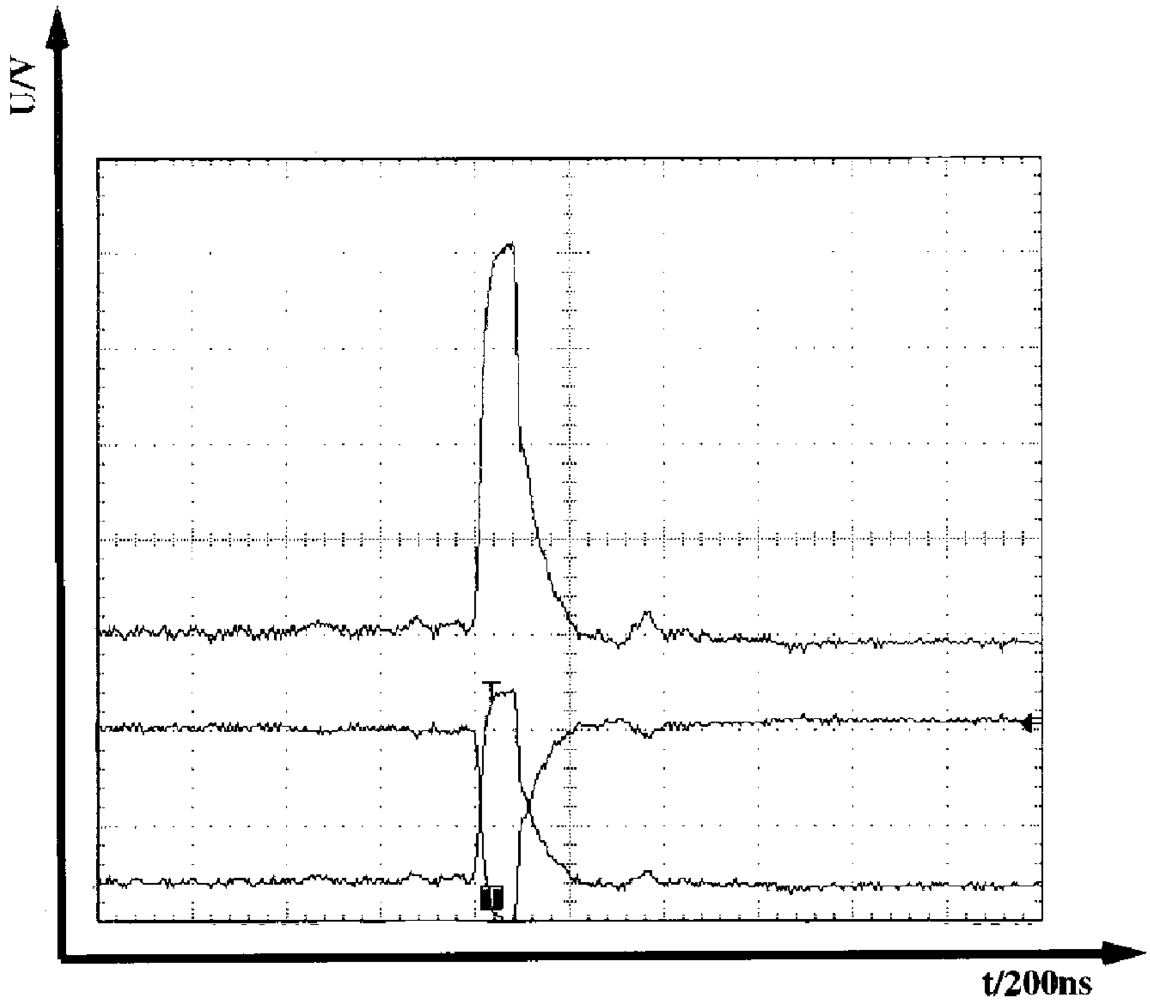

Abbildung 5.2: *Gemessener Signaldrahtpuls [y-Skala in 1V-Schritten ; x-Skala in 200ns-Schritten]*

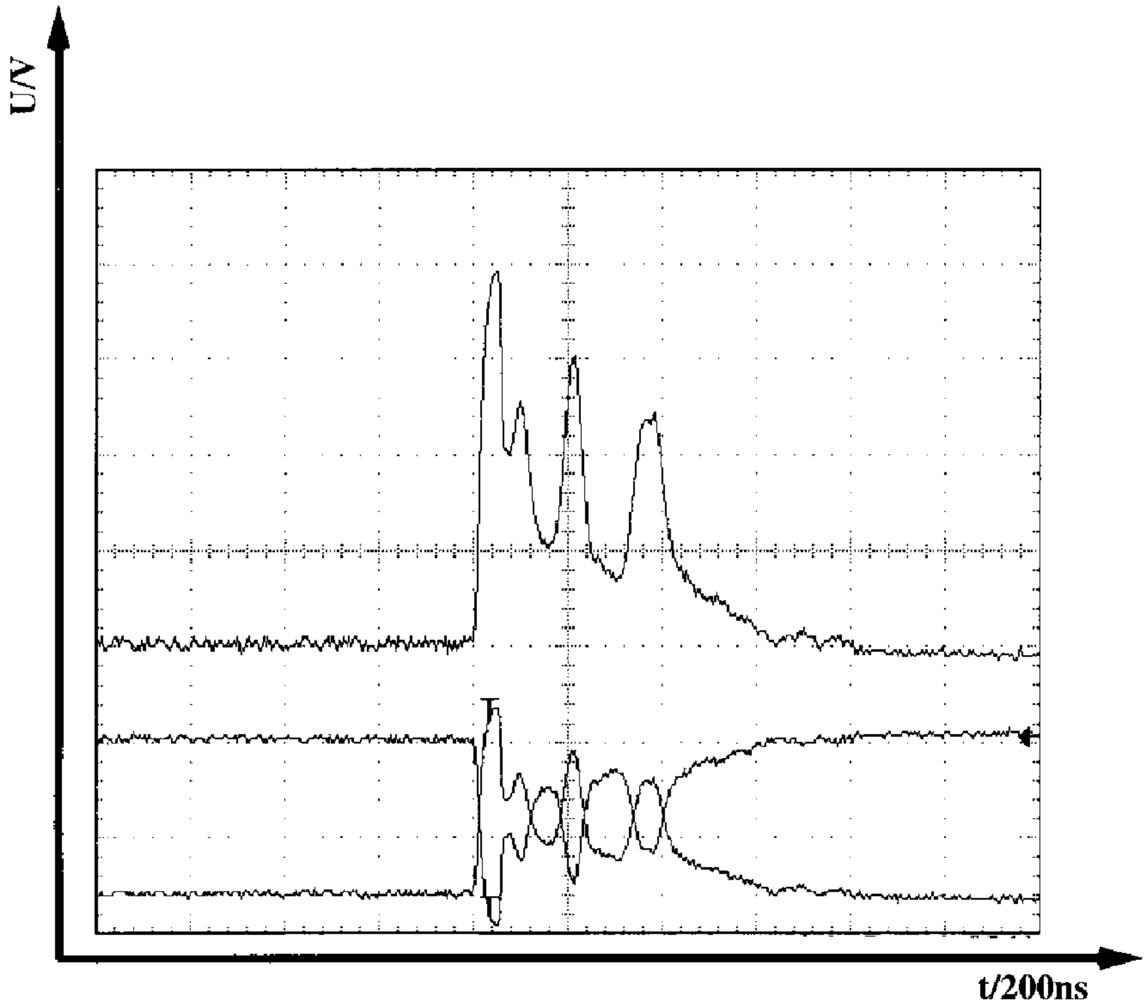

Abbildung 5.3: *Gemessener Signaldrahtpuls mit Folgepulsen [y-Skala in 1V-Schritten ; x-Skala in 200ns-Schritten]*

Driftzellen Signaldraht	1,2	3,4	5,6	7,8	9,10	11,12	13,14	15,16
1	78	104	116	136	146	166	152	64
2	76	94	118	136	130	150	148	156
3	78	100	116	130	130	152	136	138
4	88	100	122	150	144	162	152	160
1	98	102	116	170	148	164	144	64
2	88	94	116	166	152	158	152	64
3	86	100	114	166	142	140	142	64
4	88	102	122	176	170	170	168	64

Tabelle 5.1: *Pulshöhe des Signaldrahtrauschens der Driftkammer CIZ in [mV]*

Driftzelle Draht	1,2	3,4	5,6	7,8	9,10	11,12	13,14	15,16	17,18	19,20	21,22	23,24
1	106	118	116	96	78	114	124	120	26	82	94	56
2	86	100	84	86	76	94	124	108	26	78	72	56
3	92	98	78	74	90	92	120	108	26	86	72	56
4	82	112	90	94	94	120	124	140	26	106	104	56
1	88	80	108	84	96	88	74	74	74	90	100	144
2	78	70	78	78	70	78	68	64	64	70	80	90
3	70	74	86	70	68	74	74	68	66	72	72	84
4	88	82	78	86	74	76	78	82	78	86	98	128

Tabelle 5.2: *Pulshöhe des Signaldrahtrauschens der Driftkammer COZ in [mV]*

Folgepulse

Die schon erwähnten Folgepulse sind eine Art Rauschen, das mit einem Signaldrahtpuls, der zu einer Teilchenbahn gehört, korreliert ist. Sie können in den Input-Karten durch Kombination mit anderen Signaldrahtpulsen ("echten" Pulsen oder anderen Folgepulsen) zu falschen Spursegmenten führen.

5.2.3 Aufgenommene Ereignisse

Es wurden ca. 200MB Testdaten während Luminositätsruns und Cosmic-Runs aufgenommen. Diese Testdaten bestanden bei jedem Ereignis aus Ereignisnummer, allen Signaldrahtdaten aus den Driftkammern CIZ und COZ sowie der Untergrundsumme dieses Ereignisses. Nebenbei wurde von Hand die Laufnummer (= *Run Number*) aufgeschrieben und festgehalten, ob es sich um einen Lauf mit Elektronen- und Protonenpaketen (= *Lumi Run*) oder ohne Teilchenpakete (= *Cosmic Run*) handelte, bei dem die Teilchenspuren von kosmischen Partikeln stammen.

Von jedem Lauf sind ca. 200 - 2000 Ereignisse aufgenommen worden. Die Laufnummern und die Art des Laufes sind in Tabelle 5.3 angegeben.

5.3 Einstellung der Elektronik im RZ-Trigger

5.3.1 Einstellung der Adapterkarten-Schwellen

Aus den gemessenen Rauschpulshöhen wurde für jede Adapterkarte die Schwelle berechnet. Da die Daten aus jeweils zwei Driftzellen in eine Adapterkarte geführt werden, muß der höchste Signaldrahtrauschwert aus den zugehörigen Driftzellen als Berechnungsgrundlage für die Einstellung der Schwelle dienen. In Tabelle 5.4 sind die berechneten Schwellen eingetragen. Für jede Input-Karte sind zwei Schwellen einstellbar, da sie Daten aus jeweils zwei FADC-Karten erhalten.

5.3.2 Einstellungen am Untergrundtrigger

Aufgrund interner Taktgeber und Testpulsgeneratoren ist der RZ-Trigger in der Lage ohne Verbindung zum H1-Experiment zu laufen. Mit Hilfe eines Steuerungsprogrammes [?] sind Testpulse (z.B. Signaldrahtpulse) über maximal 16 20MHz - Perioden in die Testpulsgeneratoren des RZ-Triggers einschreibbar und alle Speicher des RZ-Triggers auslesbar.

Rauschen in der Analogpipeline

Als erstes wurde die Höhe des Rauschens in der Analogpipeline gemessen. Das Rauschen wurde durch das Aktivieren des RZ-Triggers durch den Steuerrechner von einem Einschaltpuls überlagert. Nach diesem Einschaltpuls stabilisierte sich das Rauschen auf einen Wert von 30 bis 55 FADC-Einheiten. Das Rauschen war von einer 10MHz Sinusfrequenz überlagert. Diese Frequenz wurde von den Taktgebern der 2kByte-RAM's generiert, die direkt neben der Analogpipeline angebracht waren. Durch Deaktivierung dieser für den Testlauf nicht wichtigen Taktgeber und der Umsetzung derselben (auf eine weiter von der Analogpipeline entfernte Position) auf dem nächsten Prototyp der Kontroller-Karte wurde das Rauschen auf Werte zwischen 40 und 45 FADC-Einheiten reduziert.

Nachweis eines Untergrund-Spursegmentes

Das Ziel ist der Nachweis eines Untergrund-Spursegmentes am Ausgang der Analogpipeline. Dazu wurden über den Steuerrechner Signaldrahtpulse, die zu Untergrundspursegmenten kombinierbar waren, in den RZ-Trigger eingeschrieben und der in FADC-Einheiten abgespeicherte Wert der Untergrundsumme ausgelesen. Dabei galt es folgende Randbedingungen zu beachten:

1. Die Verstärker v1-v6 (siehe Abbildung **??**), die zur gewichteten Aufsummierung der Teiluntergrundsummen dienen, sollen erst bei möglichst vielen Spursegmenten in die Sättigung gehen. Der Verstärkungswert pro Spursegment darf aber nicht so klein gewählt werden, daß sich ein Spursegment nicht mehr von dem Rauschen in der Analogpipeline absetzt.

2. Der Summierverstärker, der alle Einzeluntergrundsummen in der Analogpipeline zur Untergrundsumme aufsummiert (im folgenden v25 genannt), sollte möglichst viele Untergrund-Spursegmente linear aufsummieren können, bevor er in die Sättigung geht.

Der Summierverstärker v25 wurde so eingestellt, daß er erst bei 66 Untergrund-Spursegmenten in die Sättigung geht, da die nächst geringere Einstellung[1] bewirken würde, daß der Summierverstärker bei 14 Untergrund-Spursegmenten in die Sättigung gehen würde. Gerade Ereignisse mit hohen Untergrundsummen haben häufig mehr als 14 Untergrund-Spursegmente, die dann aber nicht mehr unterscheidbar wären.

Die kleinst mögliche Wichtung, die ein Spursegment haben muß, um sich vom Rauschen abheben zu können, führt pro Spursegment zu einer Erhöhung der Untergrundsumme um 2 FADC-Bits. Die Amplitude des statistischen Rauschens in der Analogpipeline beträgt 5 FADC-Bits, die obere Grenze ist bei 45 FADC-Bits. Wird der Referenzwert des Komparators K1 auf der Histogramm-Karte auf 46 FADC-Bits gesetzt, so überschreitet die Summe von Rauschen und 2 FADC-Bits diesen Wert mindestens einmal in den 25 20MHz-Takten, so daß ein Untergrund-Spursegment, bei geeigneter Wahl des Referenzwertes, zu einem Triggerbit für hohen Untergrund führen könnte. Die Wahl der Einstellung von mindestens 2 FADC-Bits pro Untergrundspursegment führt dazu, daß die Summierverstärker v1-v6 bei jeweils 6 Untergrund-Spursegmenten in die Sättigung gehen.

Die Wichtung der Teiluntergrundsummen

Um die relative Wichtung der Teiluntergrundsummen aus den Driftkammern CIZ und COZ zueinander vornehmen zu können, wurde eine Statistik über die nach Driftkammern getrennte Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Spursegmente angefertigt. Die

[1] Die Einstellung erfolgt über Widerstände, von denen nur diskrete Werte vorhanden sind

Statistik [?] basierte auf Untersuchung der Häufigkeit des Auftretens verschiedener Spursegmente bei $L4 - Reject-$Ereignissen[2]. Die Statistik zeigte, daß

- CIZ-normal-Spursegmente ca. 60%,
- CIZ-boundary-Spursegmente ca. 30%,
- COZ-sensecrossing-Spursegmente ca. 5% und
- COZ-normal-Spursegmente ca. 5%

der gefundenen Spursegmente ausmachten. Die niedrigere Rate der COZ-Spursegmente hat eine Ursache in der Art der logischen UND-Gatter. Ein CIZ-Spursegment wird aus den Signaldrahtpulsen von nur drei Signaldrähten aus einer CIZ-Driftzelle gebildet, während ein COZ-Spursegment, das auf den $-z$-Untergrundbereich zeigt, nur aus vier Signaldrahtpulsen gebildet werden kann. Bei einer Nachweiswahrscheinlichkeit einer Teilchenspur von 55% pro Signaldraht in der Driftkammer COZ und 78% in der Driftkammer CIZ [?] ergibt sich so eine deutlich geringere Effizienz in der Spursegmentfindung aus den Daten von den Signaldrähten der Driftkammer COZ.
COZ-boundary-Spursegmente und CIZ-sensecrossing-Spursegmente waren noch nicht verfügbar (s. o.), so daß die für sie gedachten Summierverstärker für andere Spursegmente frei waren. Mit der Auflage, daß ein Spursegment in der Untergrundsumme nachweisbar ist sowie dem Wunsch möglichst viele Spursegmente zur Teiluntergrundsumme zusammenfassen zu können, ergaben sich mit Bezugnahme auf obige Statistik folgende Werte für die Gewichte g1-g6 (normiert auf den kleinsten, sich in der Untergrundsumme vom Rauschen der Elektronik abhebenden Wert $\hat{=}$ 2 FADC-Einheiten):

- g1 für CIZ-*normal*-Spursegmente der CIZ-Zellen 1-8: Faktor 1;
- g2 für CIZ-*normal*-Spursegmente der CIZ-Zellen 9-15: Faktor 1;
- g3 für CIZ-*boundary*-Spursegmente der CIZ-Zellen 1-8: Faktor 1.5;
- g4 für CIZ-*boundary*-Spursegmente der CIZ-Zellen 9-15: Faktor 1.5;
- g5 für COZ-*normal*-Spursegmente aller Driftzellen: Faktor 4;
- g6 für COZ-*sensecrossing*-Spursegmente aller Driftzellen: Faktor 4.

Faktor 1 mußte für die am häufigsten auftretenden Spursegmente gewählt werden. Der größte wählbare Faktor ist 6. So sind die Aussagen der Statistik über die Häufigkeit des Auftretens der verschiedenen Spursegmentarten nur tendenziell zu realisieren gewesen.

[2] L4-Reject-Ereignisse sind Ereignisse, die von der vierten Triggerstufe als nicht physikalisch interessant bewertet wurden, aber zu Kontroll- und Testzwecken aufgezeichnet wurden (siehe Kapitel 6.4)

Lauf-Nummer	Art der Aufnahme
65608	Lumi-Run
65616	Cosmic-Run
65719	Lumi-Run
65723	Lumi-Run
65725	Lumi-Run
65775	Lumi-Run
65777	Lumi-Run
65942	Lumi-Run
65945	Lumi-Run
65947	Lumi-Run
65999	Lumi-Run
66175	Lumi-Run
66177	Lumi-Run
66183	Lumi-Run
66184	Lumi-Run
66217	Lumi-Run
66218	Lumi-Run
66219	Lumi-Run
66225	Cosmic-Run
66406	Lumi-Run
66461	Lumi-Run
66462	Lumi-Run
66463	Lumi-Run
66474	Lumi-Run
66475	Lumi-Run
66476	Lumi-Run
66527	Lumi-Run
66529	Lumi-Run
66530	Lumi-Run
66531	Lumi-Run
66532	Lumi-Run
66534	Lumi-Run
66535	Lumi-Run
67100	Cosmic-Run
67101	Cosmic-Run
67113	Cosmic-Run
67114	Cosmic-Run
67115	Cosmic-Run
67116	Cosmic-Run
67117	Cosmic-Run
67118	Cosmic-Run
67119	Cosmic-Run
67120	Cosmic-Run

Tabelle 5.3: *Lauf-Nummern und Art des Laufes der aufgenommenen Daten*

Karte	Zelle 1	Zelle 2
CIZ1	45	48
CIZ2	57	82
CIZ3	79	79
CIZ4	78	73
COZ1	49	55
COZ2	54	45
COZ3	45	55
COZ4	58	65
COZ5	36	49
COZ6	48	67

Tabelle 5.4: *Schwellen für die Adapterkarten in digitalen Einheiten*

Kapitel 6

Auswertung

In diesem Kapitel wird zuerst untersucht, wie gut die berechnete mit der gemessenen Untergrundsumme übereinstimmt, und dann werden die im Herbst '93 bei den Testmessungen aufgenommenen Daten ausgewertet.

Da aus der Untergrundsumme ein Triggerelement erzeugt werden soll, das als Veto in Subtrigger aufgenommen werden kann, müssen mit Hilfe des Programmes zur Berechnung der Untergrundsumme verschiedene Testdatensätze untersucht werden, um die Eignung der Untergrundsumme zur Untergrundunterdrückung festzustellen. Als Testdatensätze wurden von der vierten Triggerstufe als Physik erkannte Ereignisse, von der vierten Triggerstufe als Untergrund erkannte Ereignisse und speziell nach Physikklassen ($c\bar{c}$, $b\bar{b}$ und J/Ψ - Kandidaten) selektierte Ereignisse verwendet.

6.1 Vergleich der berechneten Untergrundsummen mit den gemessenen Untergrundsummen

Um zu untersuchen, wie gut die Bildung der Untergrundsumme in der Hardware funktioniert, wurden die gemessenen Untergrundsummen von 891 Ereignissen mit den aus den ebenfalls aufgenommenen Signaldrahtpulsen berechneten Untergrundsummen derselben Ereignisse verglichen.
In Abbildung **??**a ist der Quotient von den berechneten Werten und den gemessenen Werten in % dargestellt. Es zeigt sich eine Streuung der Werte um die erwünschten 100%. Die Ursache dieser Streuung ist auf die 5%-Toleranz aller Widerstände zurückzuführen, da sich Abweichungen vom Nennwert nach Verstärkung entsprechend bemerkbar machen, sowie auf die schwankenden Sättigungsspannungen der Summierverstärker, die vom Hersteller mit 3500mV angegeben wird. Um diese Sättigungseffekte teilweise zu unterdrücken, wurden alle sehr hohen Untergrundsummen (>100FADC-Bits) in Abbildung **??**c nicht berücksichtigt. Man erkennt eine Abnahme der Breite der Verteilung (siehe Abbildung **??**b). Ab Herbst 1994 sollen elektronische Bausteine mit

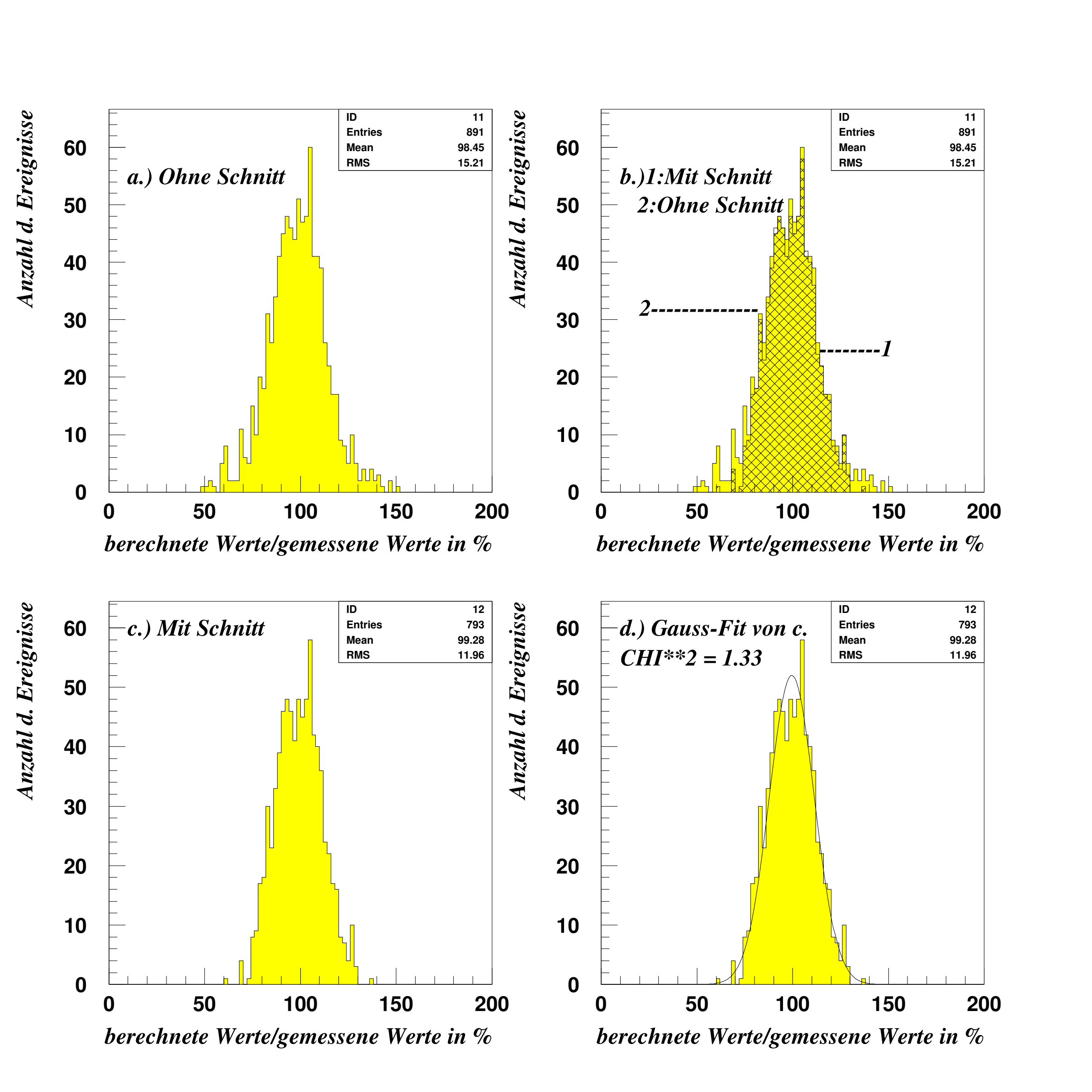

Abbildung 6.1: *Histogramme berechnete Werte/gemessene Werte*

1%iger Toleranz zur Bildung der Untergrundsumme verwendet werden, was dann zu einer weiteren Verschmälerung der Verteilung der Quotienten führen wird.

Der Mittelwert der Quotienten von berechneten Werten zu gemessenen Werten liegt bei 99.28%, die mittlere (rms) Abweichung beträgt 11.95%. Die Abweichung läßt sich durch die Toleranz der Widerstände und die Sättigungseffekte in den Summierverstärkern erklären. Die Übereinstimmung zwischen berechneten Werten und gemessenen Werten ist also in den Grenzen der durch die Elektronik verursachten Ungenauigkeit gegeben. Damit ist die Funktionstüchtigkeit der Untergrund - Aufsummierung nachgewiesen.

6.2 Auswertung der gemessenen Datensätze

In den folgenden Abschnitten werden die im Herbst 1993 mit eigener Auslese aufgenommenen Daten ausgewertet und anschließend von der vierten Triggerstufe klassifizierte Ereignisse untersucht.

6.2.1 Die Untergrundsummen von Ereignissen, die von der ersten Triggerstufe als Physikereignisse anerkannt worden sind

Klassifizierung der Untergrundsummen

Von 2099 Ereignissen ist die Untergrundsumme ausgelesen und in Abbildung **??** gegen den Logarithmus ihrer Häufigkeit aufgetragen worden. Die Elektronik bewirkt ein Grundrauschen in der Analogpipeline, das der FADC in Werte zwischen 40 und 45 FADC-Einheiten umwandelt. Der Rauschmittelwert liegt bei 42 FADC-Einheiten. Dieser Mittelwert dient bei der Berechnung der Untergrundsumme als Grundlage für das Rauschen des RZ-Trigger-Systems.
Man erkennt,

- daß ca. 50% der Ereignisse eine Untergrundsumme haben, die im Rauschbereich der Elektronik liegt (<45 FADC-Einheiten),
- daß weitere 23% der Ereignisse eine kleine Untergrundsumme (45 FADC-Einheiten<Untergrundsumme<60 FADC-Einheiten) aufweisen,
- daß 27% eine hohe Untergrundsumme (> 60 FADC-Einheiten) besitzen und
- daß 9% aller Ereignisse eine sehr hohe Untergrundsumme (> 75 FADC-Einheiten) haben.

Bewertung der Untergrundsummen

Um die Klassifikation bewerten zu können, muß man die Ereignisse aus den gemessenen Daten genau untersuchen. Dies ist bei Ereignissen, die von der vierten Triggerstufe als Physikereignisse erkannt worden sind, möglich, da die Daten dieser Ereignisse auf Band gespeichert sind.

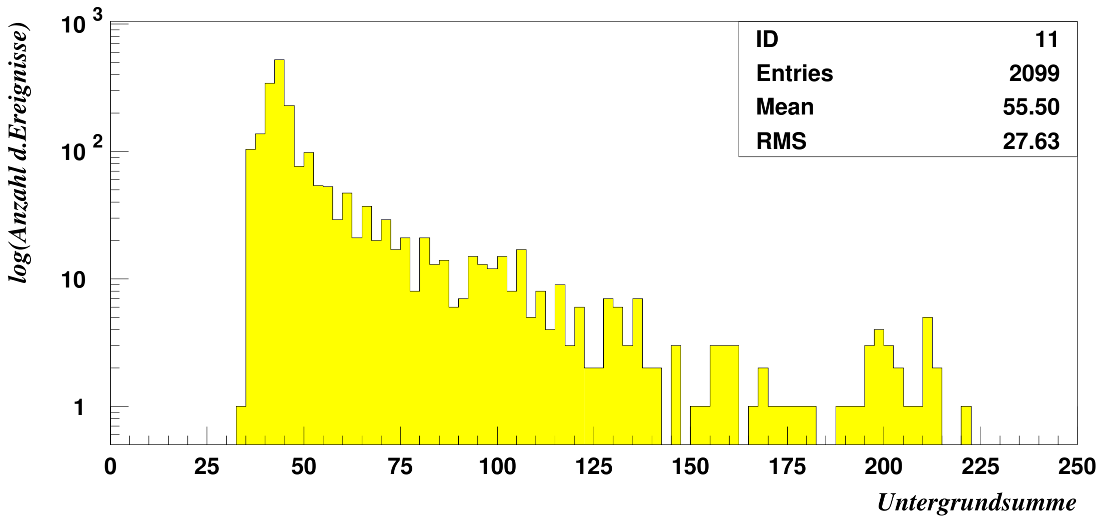

Abbildung 6.2: *Gemessene Untergrundsummen von den aufgenommenen Datensätzen*

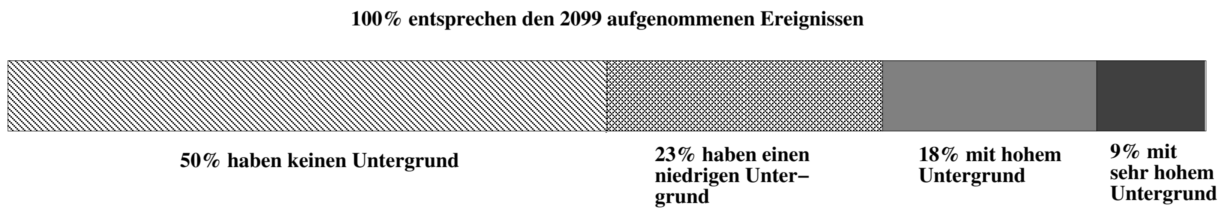

Abbildung 6.3: *Prozentuale Verteilung der verschiedenen Untergrundklassen in den von der ersten Triggerstufe als Physik anerkannten Ereignissen*

- Von allen Ereignissen mit sehr hoher Untergrundsumme sind 2.4% inklusive der sogenannten Monitortrigger[1] unter den von der vierten Triggerstufe als Physik anerkannten Ereignissen.
- Von allen Ereignissen mit hoher Untergrundsumme sind 11% von der vierten Triggerstufe als Physikereignis erkannt worden.
- Ereignisse mit kleiner Untergrundsumme oder einer Untergrundsumme im Rauschbereich sind wesentlich häufiger von der vierten Triggerstufe als Physikereignisse anerkannt worden.

[1]Monitortrigger sind Ereignisse, die die vierte Triggerstufe normalerweise nicht als Physikereignis klassifiziert hätte, die zum Testen von bestimmten Subtriggern aber trotzdem aufgezeichnet worden sind

Daraus kann man folgern, daß Ereignisse mit zunehmendem Wert der Untergrundsumme mit wachsender Wahrscheinlichkeit keine physikalisch interessanten Ereignisse sind.

6.2.2 Untersuchung der gemessenen Daten mit hoher Untergrundsumme, die von der vierten Triggerstufe als Physik anerkannt wurden

Alle von der vierten Triggerstufe als Physikereignisse klassifizierten Ereignisse liegen bei H1 auf einer Großrechenanlage abgespeichert vor. Mit Hilfe des Programmes "H1 Event Display" [?] ist es möglich ein Ereignis optisch zu betrachten[2]. Von den 27% der gemessenen Daten mit hoher gemessener Untergrundsumme sind 11% (=78 Ereignisse) von der vierten Triggerstufe als Physik erkannt worden. Diese 11% sind mit "H1 Event Display" überprüft worden. Diese Ereignisse lassen sich in zwei Gruppen aufteilen:

- Typ a: Ereignisse mit wenig bis gar keinen Spuren, die auf den Vertex weisen, und sehr vielen Untergrundspuren (siehe z.B. Abbildung **??**); Solche Ereignisse werden als nicht physikalisch interessant bewertet. Von den 78 Ereignissen hatten 41 eine solche Signatur.

- Typ b: Ereignisse mit einer hohen Multiplizität (siehe z.B. Abbildung **??**). Alle Ereignisse mit Spuren, die auf den Vertex weisen, werden als potentielle Physikereignisse betrachtet. Von den 78 untersuchten Ereignissen waren 37 vom Typ b.

Ereignisse mit hoher Multiplizität haben eine hohe Untergrundsumme, da viele Spursegmente in der Driftkammer COZ, die auf den Vertexbereich weisen, Spiegelspursegmente haben, die nicht auf den Vertexbereich weisen und somit zur Untergrundsumme beitragen. Auch können gerade bei Ereignissen mit einer hohen Multiplizität aufgrund vieler Signaldrahtpulse zufällige Koinzidenzen zu Untergrund-Spursegmenten führen.

Wenn die Ereignisse vom Typ b als mögliche Physik betrachtet werden, so sind nur 5.28% der Ereignisse mit hoher Untergrundsumme mögliche physikalisch interessante Ereignisse und somit als Untergrund fehlklassifiziert.

6.3 Untersuchung von Ereignissen mit der Simulation der Untergrundsummenbildung

Im folgenden werden von H1 aufgenommene, auf der IBM-Großrechenanlage vorliegende Ereignisse mit Hilfe des Programmes zur Berechnung der Untergrundsumme

[2] Die Abbildungen 6.4, 6.5, 6.14 und 6.15 sind von dem Programm "H1 Event Display" erstellt

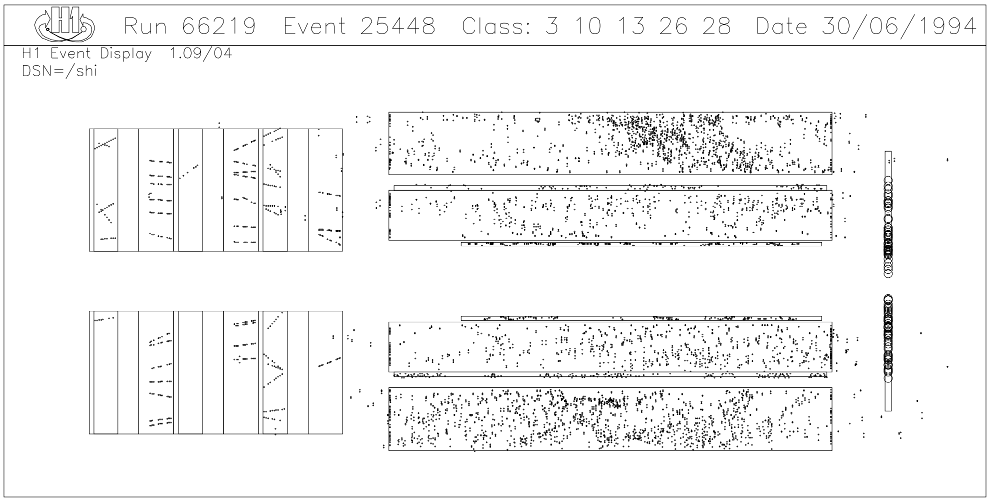

Abbildung 6.4: *Ansicht des Spurkammersystems mit einem Ereignis mit vielen Untergrundspuren [Typ a]*

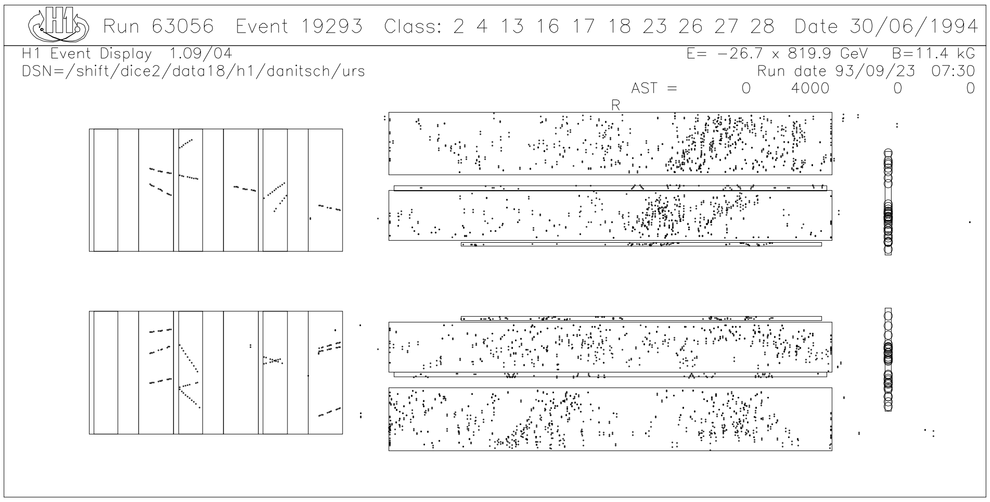

Abbildung 6.5: *Ansicht des Spurkammersystems mit einem Ereignis mit hoher Multiplizität [Typ b]*

untersucht. Die Berechnung erfolgt auf der Grundlage der H1-Auslese von den Driftkammern CIZ und COZ. Mit den von H1 abgespeicherten Signaldrahtpulsen ist es möglich, die Untergrundsumme wiederholt mit verschiedenen Einstellungen der Wichtungsfaktoren zu berechnen.
In diesem Abschnitt sollen zuerst Verbesserungen bei den Einstellungen der Gewichte g1-g6 vorgeschlagen werden. Anschließend werden von 11611 Ereignissen die Untergrundsummen mit verschiedenen Einstellungen der Gewichte g1-g6 berechnet.

6.3.1 Verbesserungen bei der Wichtung der Spursegmente

Bei den Einstellungen für die Testmessungen im Herbst '93 war das Ziel, einzelne Spursegmente so deutlich wie möglich in der Untergrundsumme feststellen zu können, und viele Untergrund-Spursegmente auflösen zu können, bevor der entsprechende Summierverstärker in die Sättigung geht. Deshalb wurden seltener auftretende Spursegmente höher gewichtet.

In Zukunft soll nicht die maximale Spursegmentauflösung in der Untergrundsumme erzielt werden, sondern Untergrundereignisse aus dem $-z$-Bereich des Protonenstrahls erkannt werden. Dazu müssen die in Kapitel 6.2 gemachten Erkenntnisse mit in die Wichtung der Teiluntergrundsummen einfließen.

In Kapitel 6.2 zeigte sich, daß Ereignisse mit hoher Multiplizität aufgrund vieler Spiegelspuren häufig eine hohe Untergrundsumme aufwiesen. Da es nur Spiegelspuren von *normal* - und *sensecrossing* - Spursegmenten gibt (siehe Abbildung **??** und **??**), müssen die eindeutigen *boundary* - Spursegmente ein höheres Gewicht erhalten. Auch zeigte sich, daß ein COZ-Untergrund-Spursegment für ein Untergrundereignis nicht signifikanter ist als ein CIZ-Untergrund-Spursegment, so daß zur Untergrunderkennung die Spursegmentarten der beiden Driftkammern CIZ und COZ gleich gewichtet werden müssen.

Bei dem Testlauf im Herbst '93 fehlten noch die entsprechenden logischen UND-Gatter, um CIZ-*sensecrossing*- und COZ-*boundary*-Spursegmente identifizieren zu können. Da diese ab 1994 vorhanden sind, können sie mit in die Berechnung der Untergrundsumme einbezogen werden.

Unter Einbeziehung der in Kapitel 6.2 gemachten Erkenntnisse und den sich daraus ergebenden Folgerungen werden folgende Wichtungen der Widerstände g1-g6 in der Simulation der Untergrundsummenbildung vorgeschlagen: (Faktor 1 $\hat{=}$ 2 FADC-Einheiten)

- g1 für CIZ-*normal*-Spursegmente der CIZ-Zellen 1-8: Faktor 1;
- g2 für CIZ-*sensecrossing*-Spursegmente der CIZ-Zellen 9-15: Faktor 1;
- g3 für CIZ-*boundary*-Spursegmente der CIZ-Zellen 1-8: Faktor 6;
- g4 für COZ-*normal*-Spursegmente der CIZ-Zellen 9-15: Faktor 1;

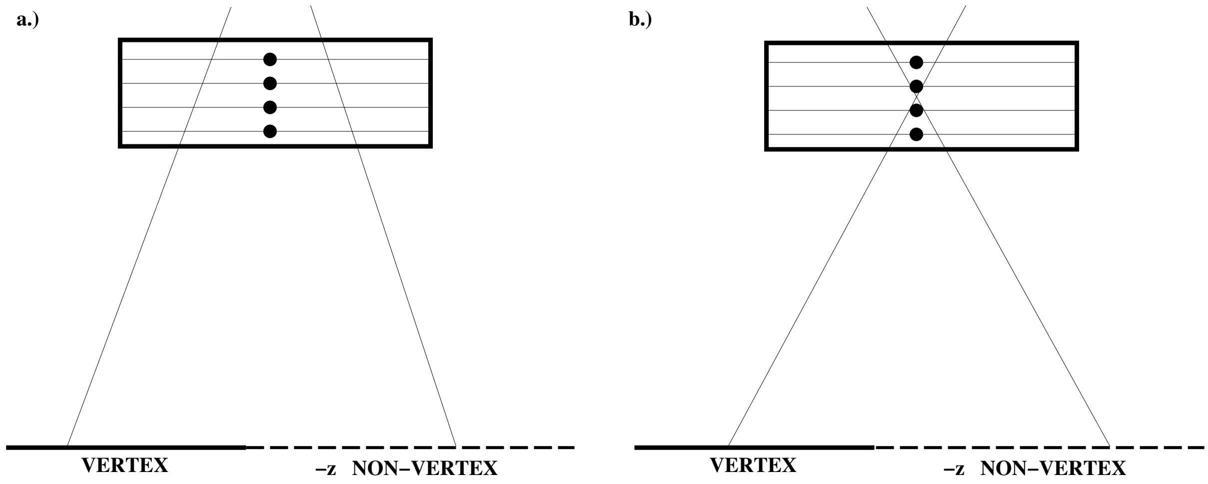

Abbildung 6.6: *a.) Eine Spiegelspur von einem COZ-normal-Spursegment; b.) Eine Spiegelspur von einem COZ-sensecrossing-Spursegment*

- g5 für COZ-*sensecrossing*-Spursegmente aller Driftzellen: Faktor 1;
- g6 für COZ-*boundary*-Spursegmente aller Driftzellen: Faktor 6.

Faktor 1 entspricht dem kleinsten Wert, der noch vom Rauschen der Elektronik in der Untergrundsumme unterscheidbar ist. Faktor 6 bedeutet, daß der Summierverstärker bei einer Spur gerade in die Sättigung geht.

Frühe *boundary* - Spursegmente

Ladungswolken, die von einer Teilchenspur stammen, die eine Kathodenebene geschnitten hat (siehe Abbildung **??**), treffen aufgrund der längsten Laufzeit als letzte an den Signaldrähten ein. Die Signaldrahtpulse, die zu *boundary* - Spursegmenten führen, liegen dem RZ-Trigger also als letzte vor. Die Spursegmentfindung in der Input-Karte hat keine Zeitkontrolle für das Auffinden von *boundary* - Spursegmenten und würde auch zwei zufällige Teilspuren (siehe Abbildung **??**) zu einem *boundary* - Spursegment verknüpfen. Da *boundary*-Spursegmente für die Identifizierung von Untergrundereignissen sehr wichtig sind, müssen die so gefundenen *boundary* - Spursegmente bei der Bildung der Untergrundsumme herausgefiltert werden. Dazu werden die *boundary* - Spursegmente von den anderen Spursegmenten getrennt und nur in die letzten 5 $sample-and-hold$-Bausteine geleitet (siehe Abbildung **??**). So laufen frühe *boundary* - Spursegmente aus der Analogpipeline, bevor der CTC das Untergrundtriggerbit abfragt, und nur echte *boundary* - Spursegmente tragen zur Untergrundsumme bei, wenn der CTC das Untergrundtriggerbit abfragt. Diese Veränderung der Analogpipeline wird ab 1994 im RZ-Trigger realisiert. In der Simulation zur Berechnung der Untergrundsumme ist diese Änderung schon enthalten.

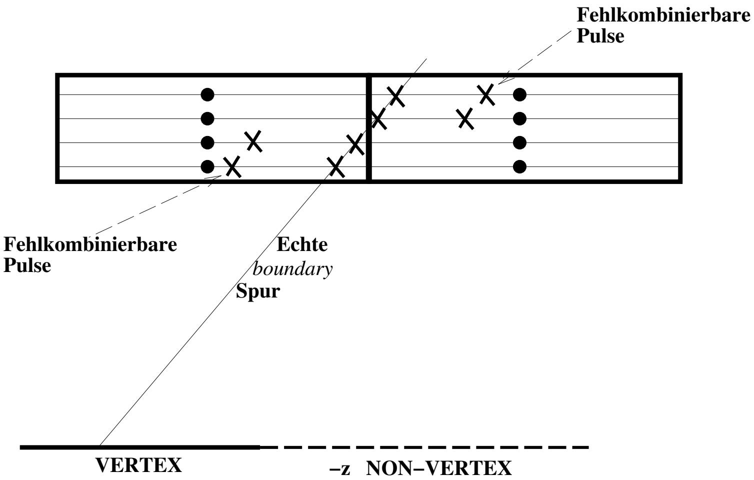

Abbildung 6.7: *Ein COZ-boundary-Spursegment und eine zufällige Pulskombination, die zu einem COZ-boundary-Spursegment führen könnte*

6.3.2 Untersuchung von Ereignissen, die von der vierten Triggerstufe als Physik akzeptiert worden sind

Die in Kapitel 6.3 gemachten Vorschläge zur Einstellung der Widerstände g1-g6 sind nur aufgrund der dort angestellten Überlegungen abgeschätzt worden. Durch eine Variation der Gewichte im Rahmen der angestellten Überlegungen soll im folgenden die relativ beste Einstellung gefunden werden. Da ein Verändern der FADC-Einheiten pro Faktor nur eine Änderung der Skala zur Folge hat, muß nur das Verhältnis von der Wichtung eines Nicht-*boundary*-Spursegmentes zur Wichtung eines *boundary*-Spursegmentes variiert werden. Der Faktor 1 für Nicht-*boundary*-Spursegmente bleibt fest, da er am meisten Platz für die Variation des Verhältnisses läßt.
Im folgenden wurden von 11611 Ereignissen bei verschiedenen Einstellungen der Gewichte g1-g6 die Untergrundsummen berechnet und mit Hilfe des Programmes "H1 Event Display" die Ereignisse untersucht, die eine hohe Untergrundsumme aufwiesen.

Um die relativ beste Einstellung der Gewichte für *boundary*-Spursegmente zu finden, wurden 4 Fälle verschiedener Wichtungen untersucht:

1. Die Wichtungen aus der Testmessung im Herbst '93 (siehe Kapitel 5).

2. Die Wichtungen, die sich aus den Überlegungen zur Lösung der Probleme bei der Untergrundsummenbildung ergaben (siehe Kapitel 6.3.1).

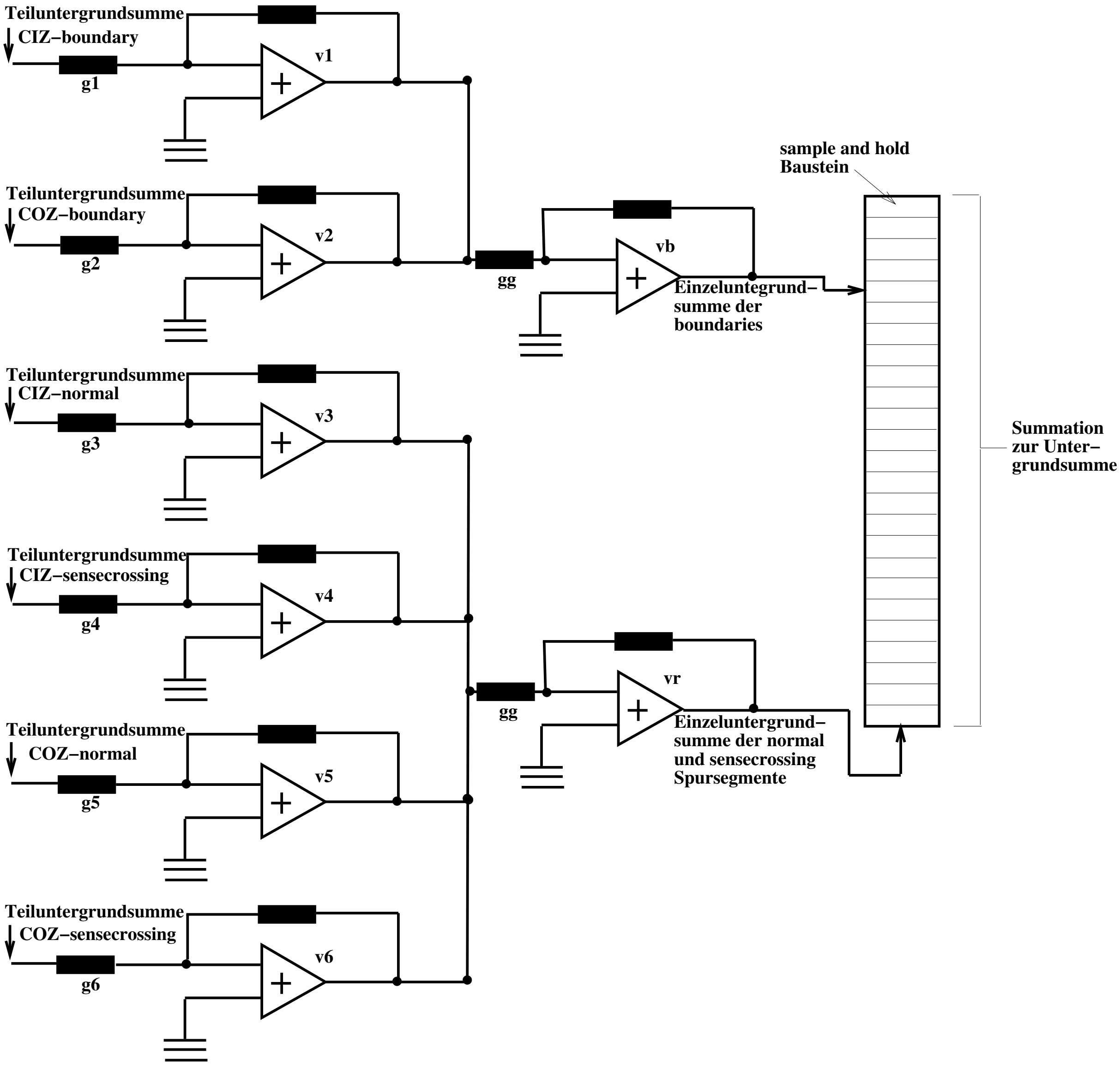

Abbildung 6.8: *Die getrennte Behandlung der boundary - Spursegmente*

3. Ein Faktor 3.3 für *boundary*-Spursegmente, was bedeutet, daß der Summierverstärker erst bei 2 Spursegmenten in die Sättigung geht.

4. Ein Faktor 2 für *boundary*-Spursegmente, was bedeutet, daß der Summierverstärker erst bei 3 Spursegmenten in die Sättigung geht.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Tabelle 6.1 dargestellt und werden im folgenden erläutert.
Das Verhältnis V/B, d.h. das Verhältnis von Ereignissen mit Vertexspuren zu Ereignissen mit Spursegmenten aus dem Nicht-Vertex-Bereich, ist ein Maß für die Güte der Klassifizierung der Ereignisse durch die Untergrundsumme, da Ereignisse mit Spuren aus dem Vertexbereich möglicherweise Physikereignisse sein können und Ereignisse

Fall	1	2	3	4
Untersuchte Ereignisse	11611	11611	11611	11611
Davon Ereignisse mit niedriger oder keiner Untergrundsumme	10876 $\hat{=}$ 89%	8455 $\hat{=}$ 73%	10102 $\hat{=}$ 87%	10387 $\hat{=}$ 90%
Davon Ereignisse mit hoher Untergrundsumme	1248 $\hat{=}$10.75%	3156 $\hat{=}$27.18%	1509 $\hat{=}$12.9%	1113 $\hat{=}$9.6%
Davon Ereignisse mit Vertexspuren (V)	513 $\hat{=}$4.4%	1893 $\hat{=}$16.3%	352 $\hat{=}$3%	292 $\hat{=}$2.5%
Davon Ereignisse mit Spursegmenten aus dem Nicht-Vertex-Bereich (B)	735 $\hat{=}$ 6.3%	1263 $\hat{=}$ 10.9%	1157 $\hat{=}$ 9.9%	821 $\hat{=}$ 7.1%
Verhältnis V/B	0.7	1.5	0.3	0.36

Tabelle 6.1: *Untergrundverteilung bei Einstellung verschiedener Gewichte*

mit nur Spuren aus dem $-z$-Bereich des Protonenstrahls Untergrundereignisse sind. Die Einteilung in Ereignisse mit Spuren aus dem Vertexbereich und Ereignisse mit nur Spuren aus dem $-z$-Bereich des Protonenstrahls wurde mit Hilfe des Programmes "H1 Event Display" vollzogen. Dabei wurden rekonstruierte Spuren aus den Jetkammern CJC1 und CJC2, die in der CTKR-Datenbank vorliegen, als Referenzspuren benutzt. Je kleiner das Verhältnis V/B ist, desto mehr Ereignisse mit hoher Untergrundsumme sind auch Ereignisse mit nur Spuren aus dem $-z$-Bereich des Protonenstrahls. Um die relativ beste Einstellung der Gewichte zu ermitteln, müssen zwei Kriterien betrachtet werden:

1. Die Anzahl der mit entsprechender Einstellung der Gewichte gefundenen Ereignisse mit hoher Untergrundsumme, die möglichst groß sein soll.

2. Das Verhältnis V/B, das möglichst klein sein soll.

Wie aus Tabelle 6.1 ersichtlich ist, ist die Wichtung der *boundary*-Spursegmente von Fall 3 die geeignetste, da sie das kleinste Verhältnis V/B hat, d.h. am besten Untergrundereignisse von Ereignissen mit Vertexspuren unterscheiden kann. Desweiteren ordnet diese Wichtung 12.9% aller untersuchten Ereignisse eine hohe Untergrundsumme zu, was bis auf Fall 2 der größte Wert ist. Fall 2 bewertet zwar die meisten Ereignisse mit einer hohen Untergrundsumme, aber das Verhältnis V/B beträgt 1.5, d.h. mit dieser Einstellung werden mehr mögliche Physikereignisse mit einer hohen Untergrundsumme versehen als Untergrundereignisse. Dies liegt daran, daß bei einer so hohen Wichtung der *boundary*-Spursegmente die Untergrundsumme durch zufällige Fehlkombination von Signaldrahtpulsen oder Kombinationen von Folgepulsen zu *boundary*-Spursegmenten schnell die Schwelle zu einer hohen Untergrundsumme überschreitet.

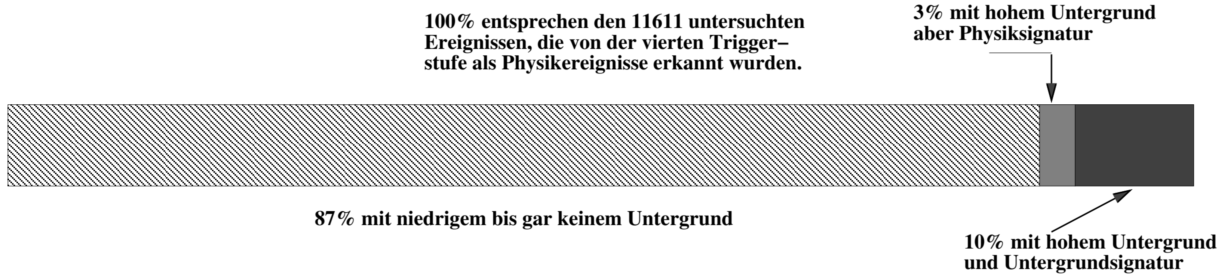

Abbildung 6.9: *Prozentuale Verteilung der verschiedenen Untergrundklassen in den von der vierten Triggerstufe als Physik anerkannten Ereignissen*

Bei allen weiteren Simulationen werden deshalb die Gewichte folgendermaßen eingestellt:

- g1 für CIZ-*normal*-Spursegmente der CIZ-Zellen 1-8: Faktor 1;
- g2 für CIZ-*sensecrossing*-Spursegmente der CIZ-Zellen 9-15: Faktor 1;
- g3 für CIZ-*boundary*-Spursegmente der CIZ-Zellen 1-8: Faktor 3.3;
- g4 für COZ-*normal*-Spursegmente der CIZ-Zellen 9-15: Faktor 1;
- g5 für COZ-*sensecrossing*-Spursegmente aller Driftzellen: Faktor 1;
- g6 für COZ-*boundary*-Spursegmente aller Driftzellen: Faktor 3.3.

In Abbildung **??** erkennt man deutlich die Reduktion der Ereignisse mit hohem und sehr hohem Untergrund durch die vierte Triggerstufe.

Durch das Hinzuziehen aller Spursegmente zur Bildung der Teiluntergrundsumme und die Höherbewertung der *boundary*-Spursegmente konnten 21% mehr Untergrundereigniskandidaten erkannt werden, bei einer gleichzeitigen Verminderung der Fehlklassifizierung um 50.8% im Vergleich zu den anfänglichen Einstellungen (siehe Kapitel 5.3.2). Damit ist der Fehler bei der Klassifizierung von Untergrundereignissen von 5.28% (siehe Kapitel 6.2.2) auf 3.1% reduzierbar.

6.4 Untersuchung der von der vierten Triggerstufe als Untergrund klassifizierten Ereignisse

Um physikalisch interessante Ereignisse entdecken zu können, deren Signatur nicht als Physiksignatur bekannt ist, wird bei H1 jedes einhundertste Ereignis aufgezeichnet. Da

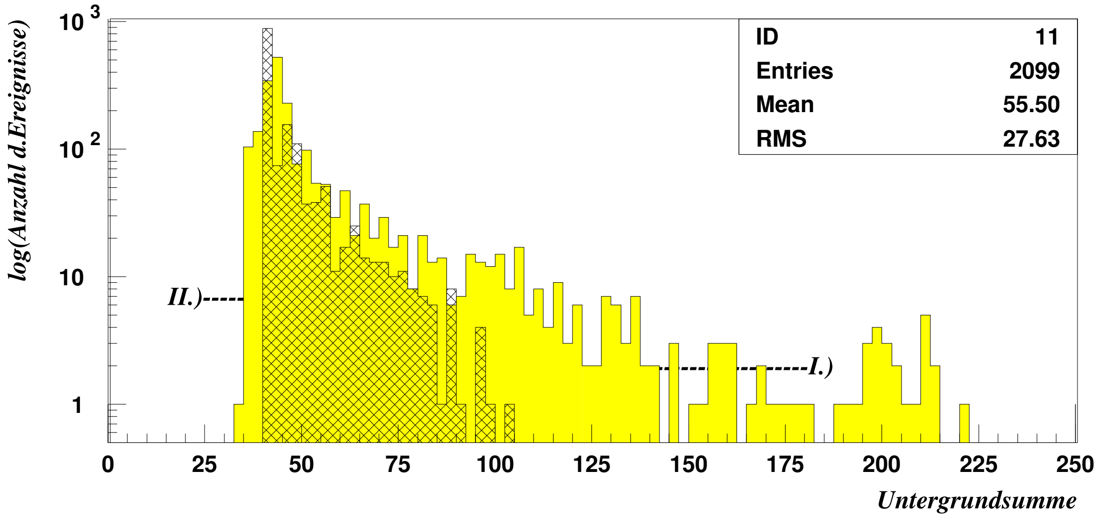

Abbildung 6.10: *I.) Gemessene Untergrundsummen von Ereignissen, die von der ersten Triggerstufe als Physikereignisse anerkannt wurden; II.) berechnete Untergrundsummen von Ereignissen, die von der vierten Triggerstufe als Physik anerkannt wurden*

die Untergrundrate bei H1 die Physikrate bei weitem übersteigt (Faktor 100:1; siehe Kapitel 3), sind in diesen Aufzeichnungen hauptsächlich Untergrundereignisse enthalten.
Mit Hilfe einer Simulation der vierten Triggerstufe [?] kann sehr schnell festgestellt werden, ob die vierte Triggerstufe das Ereignis als Physikereignis erkannt oder verworfen hat, und aus welchem Grund (siehe Kapitel 3.1.4).

6.4.1 Die Verteilung der Untergrundsummen von Untergrundereignissen

Aus den Aufzeichnungen jedes einhundertsten Ereignisses wurden alle Ereignisse entfernt, die von der vierten Triggerstufe als Physik anerkannt wurden. Von 843 so vorselektierten Ereignissen hatten

- 67.2% eine niedrige oder gar keine Untergrundsumme,
- 25.3% eine hohe Untergrundsumme und
- 7.5% eine sehr hohe Untergrundsumme.

Die Ereignisse mit niedriger bis gar keiner Untergrundsumme waren:

- Ereignisse ohne Spuren in den Driftkammern CIZ und COZ, die aber andere Trigger haben ansprechen lassen;
- $beam - gas$ - Ereignisse, die im Vertex stattfanden und für den RZ-Trigger nicht von Physikereignissen zu unterscheiden sind;
- Ereignisse, die vereinzelte unzusammenhängende Spuren in den Driftkammern CIZ und COZ haben.

Von den Ereignissen mit hoher und sehr hoher Untergrundsumme waren:

- 84.3% Ereignisse, die von der vierten Triggerstufe auf Grund ihres hohen Untergrundes aus dem $-z$-Bereiches als Untergrund identifiziert wurden.
- 15.7% Ereignisse mit sehr flachen Spuren, die eine der Driftkammern zu einem Ansprechen in vielen Driftzellen gebracht haben oder $beam - gas$ - Ereignisse mit hoher Multiplizität, die aufgrund der vielen auf den Nichtvertexbereich zeigenden Spiegelspuren einen hohen Untergrund haben.

Von allen Ereignissen, die von der vierten Triggerstufe aufgrund von Nicht-Vertex-Spuren aus dem $-z$-Bereich als Untergrund identifiziert wurden, hatten 70.2% eine hohe Untergrundsumme. Die restlichen 29.8% der Ereignisse hatten nur wenige Untergrundspuren aus dem $-z$-Bereich.

Die Übereinstimmung bei der Bewertung von Untergrundereignissen zwischen der vierten Triggerstufe und dem RZ-Trigger ist gut. Das bedeutet, der RZ-Trigger könnte schon 70.2% der aufgrund von Spuren aus dem $-z$-Bereich des Protonenstrahls als Untergrund erkannten Ereignisse in der ersten Triggerstufe herausfiltern.

6.5 Untersuchung von Ereignissen, die nach Physikklassen selektiert wurden

Der auf die vierte Triggerstufe folgende Software-Trigger gibt zu jedem von der vierten Triggerstufe als Physikereignis anerkannten Ereignis die Physiklasse an (siehe Kapitel 3.1.5). Diese Ereignisse sind dann Kandidaten für eine bestimmte Physikklasse. Bei H1 gibt es Arbeitsgruppen, die bestimmte Klassen von Ereignissen untersuchen (z.B. Schwere-Quarks-Gruppe). Diese Arbeitsgruppen selektieren aus dem Angebot an Kandidaten die Ereignisse, die ihren Anforderungen genügen, heraus. Die Ereignisse, die von diesen Gruppen selektiert werden, sind also die Physikereignisse bei H1, die letztendlich von physikalischer Bedeutung sind. Die Untersuchung der Untergrundsummen dieser Ereignisse ist also von großer Bedeutung.

6.5.1 Untersuchte Physikklassen

Ein Ziel von HERA ist es die Gluonenverteilung im Proton zu bestimmen. Die Gluon-Strukturfunktion kann über die Bestimmung der kinematischen Variablen (siehe Kapitel 2.1.1) von Ereignissen geschehen, bei denen Gluonen mit Photonen wechselwirken. Prozesse, bei denen Gluonen mit Photonen wechselwirken, sind z.B. die Photon-Gluon-Fusion $\gamma g \rightarrow q\bar{q}$ (siehe Abbildung ??) oder die inelastische J/Ψ Produktion $\gamma g \rightarrow (J/\Psi)g$ (siehe Abbildung ??). Dabei wird der Wirkungsquerschnitt dieser Ereignisse durch Prozesse mit fast reellem Photon $Q^2 \approx 0$ dominiert (sogenannte Photoproduktion). Da Ereignisse mit kleinem Q^2 über die Energietrigger nicht zu erkennen sind, ist ihre Untersuchung mit der Simulaton der Untergrundsummenbildung besonders wichtig, da der RZ-Trigger besonders diese Ereignisse klassifizieren soll.

Die Photon-Gluon-Fusion ist ein inelastischer Prozess, der dadurch viele Teilchen im Endzustand erzeugt. Es müssen auch Ereignisse mit wenigen Teilchen im Endzustand untersucht werden. Hierfür bieten sich elastische Prozesse wie die elastische J/Ψ-Erzeugung an.

Untersucht wurden Ereignisse mit Myonensignatur, die $c\bar{c}-, b\bar{b}$- und J/Ψ-Ereignisse beinhalten.
Die im H1-Detektor nachweisbaren Myonen sind u.a. Zerfallsprodukte der $c\bar{c}-, b\bar{b}$- und J/Ψ-Ereignisse:

- Über Photon-Gluon-Fusion werden $c\bar{c}$- und $b\bar{b}$-Quark-Antiquarkpaare erzeugt (siehe Abbildung ??). Diese schweren Quarks können durch die schwache Wechselwirkung unter Emission eines Myons und eines Neutrinos in leichte Quarks zerfallen.

- Die Produktion von J/Ψ-Mesonen kann inelastisch durch Photon-Gluon-Fusion oder durch diffraktive elastische oder diffraktive inelastische Prozesse beschrieben werden (siehe Abbildung ??). Das J/Ψ-Meson zerfällt mit einem Verzweigungsverhältnis von 5.97% in zwei Myonen.

6.5.2 Untersuchung berechneter Untergrundsummen von Ereignissen mit Myonensignatur

Die Untergrundsummen von 1213 Ereignissen mit Myonensignatur (siehe Kapitel 6.7.1) wurden berechnet und in Abbildung ?? dargestellt. Es ist erkennbar, daß der Wert der Untergrundsumme im Mittel noch kleiner ist als bei den von der vierten Triggerstufe als Physik anerkannten Ereignissen (siehe Tabelle 6.2). Es wird deutlich, daß bei Verbesserung der Auswahlkriterien für ein Physikereignis immer mehr Ereignisse mit hohen und sehr hohen Untergrundsummen ausgesondert werden. Von den untersuchten Ereignissen haben 20 ($\hat{=}$1.65%) eine hohe Untergrundsumme und nur drei ($\hat{=}$0.25%) eine

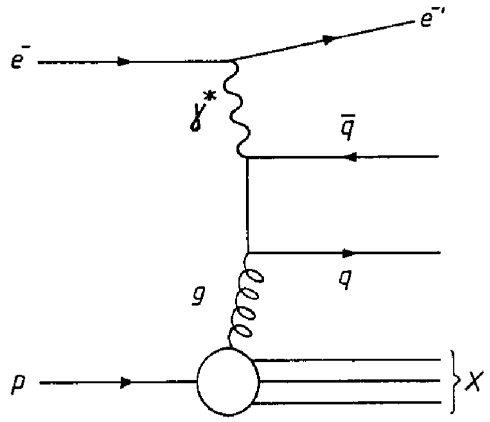

Abbildung 6.11: *Photon-Gluon-Fusion*

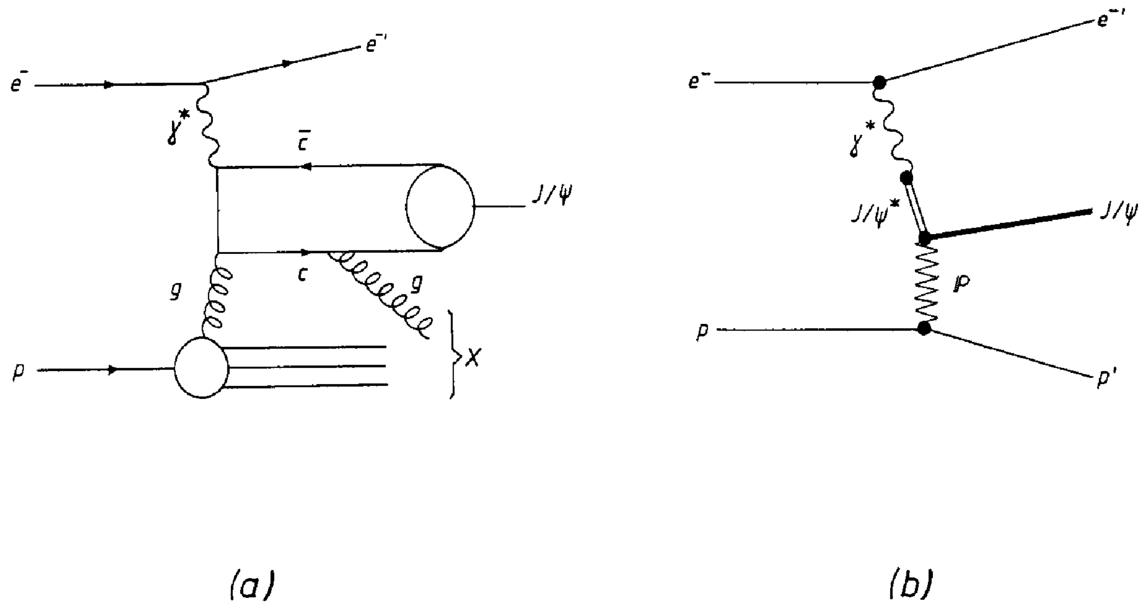

Abbildung 6.12: *a.) Inelastische Erzeugung eines J/Ψ-Mesons durch Photon-Gluon-Fusion und b.) diffraktiv elastische Produktion*

Triggerstufe	erste	vierte	Selektion durch Arbeitsgruppen
Mittelwert der Untergrundsummen	55.50	46.55	43.23

Tabelle 6.2: *Untergrundverteilung bei Einstellung verschiedener Gewichte*

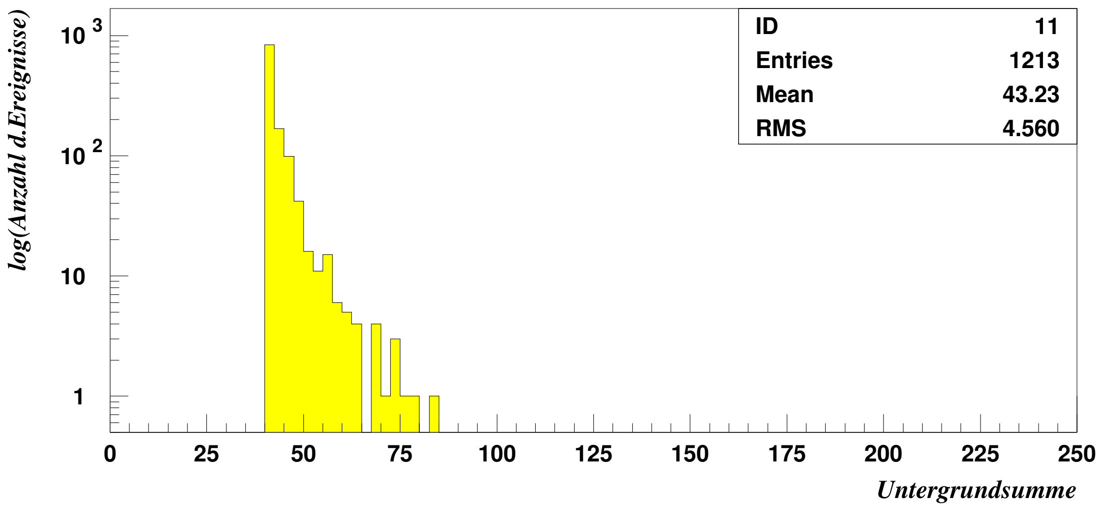

Abbildung 6.13: *Berechnete Untergrundsummen von selektierten Ereignissen mit Myonensignatur*

sehr hohe Untergrundsumme.

Die Ereignisse mit hoher und sehr hoher Untergrundsumme sind Ereignisse mit einer großen Anzahl von Teilchen im Endzustand, die viele Spuren (und damit auch Spiegelspuren und durch zufällige Pulskombinationen entstandene Spuren) in den Spurkammern erzeugen. Ereignisse mit wenigen Teilchen im Endzustand (z.B. elastische J/Ψ-Erzeugung) haben keine hohen bzw. sehr hohen Untergrundsummen. In Abbildung **??** ist ein Ereignis (Kandidat für ein $c\bar{c}$-Ereignis) mit einer großen Anzahl von Teilchen im Endzustand dargestellt. In Abbildung **??** ist ein Ereignis (Kandidat für ein diffraktiv elastisch erzeugtes J/Ψ) mit wenigen Teilchen im Endzustand abgebildet. Der Kandidat für ein diffraktiv elastisch erzeugtes J/Ψ in Abbildung 6.15 hatte eine Untergrundsumme im Rauschbereich, der Kandidat für ein $c\bar{c}$-Ereignis aus Abbildung 6.14 eine von 58 FADC-Einheiten.

6.5.3 Untersuchung der Untergrundsummen von simulierten elastischen und inelastischen J/Ψ-Ereignissen

In diesem Abschnitt werden die Untergrundsummen von simulierten elastischen und inelastischen J/Ψ-Ereignissen und die Untergrundsummen des elastische J/Ψ-Ereignisse suchenden Subtriggers Nr.54 untersucht.

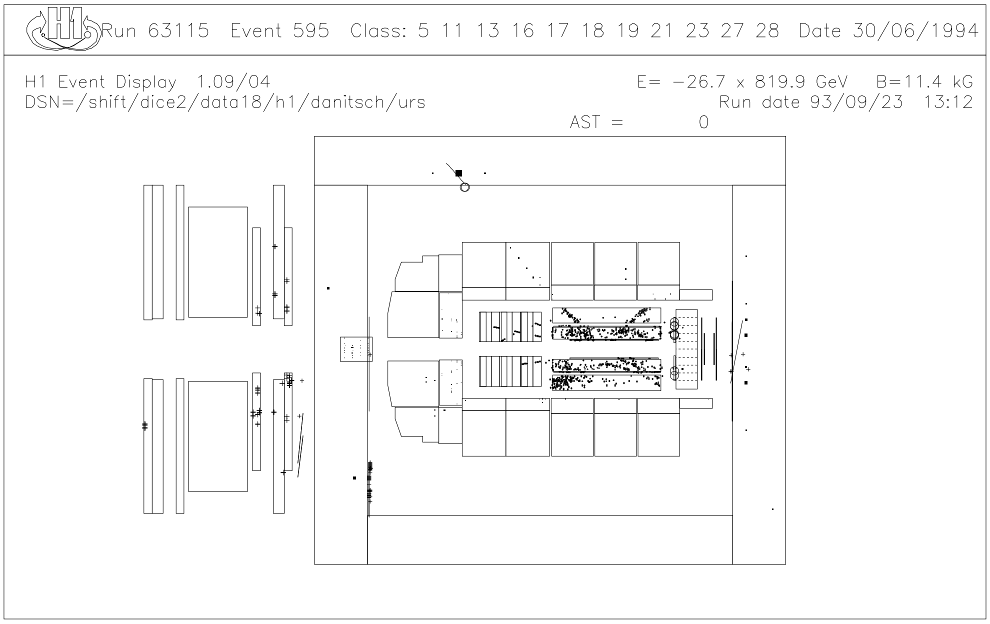

Abbildung 6.14: *Ansicht des H1-Detektors: Kandidat für ein durch Photon-Gluon-Fusion erzeugtes $c\bar{c}$-Ereignis*

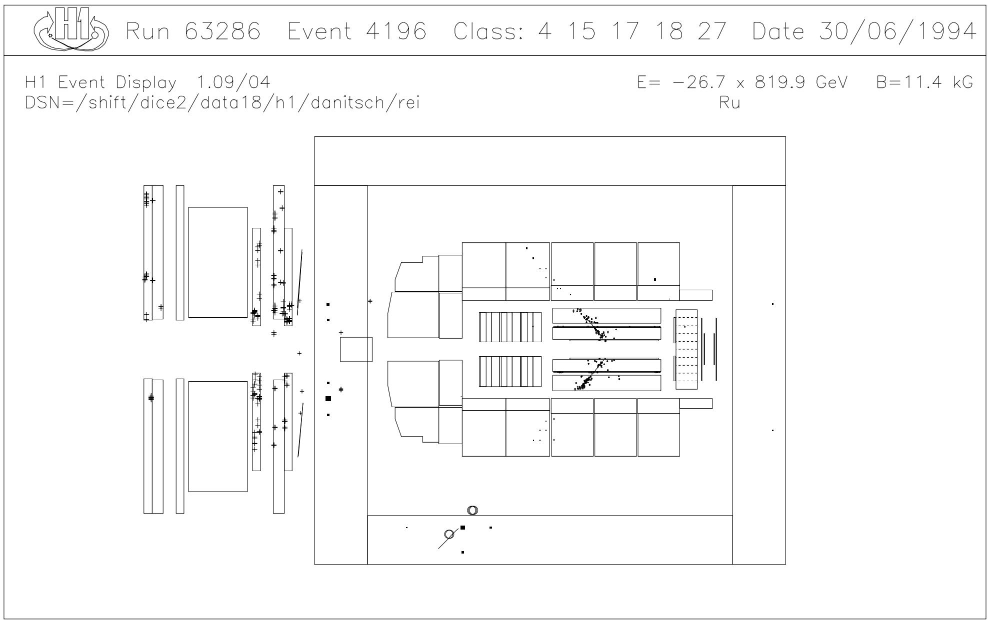

Abbildung 6.15: *Ansicht des H1-Detektors: Kandidat für ein diffraktiv elastisch erzeugtes J/Ψ*

Untergrundsummen elastischer J/Ψ-Ereignisse

Es wurden von 486 durch Monte-Carlo-Simulation [?] simulierten elastischen J/Ψ-Ereignissen (siehe Abbildung ??b) die Untergrundsummen gebildet und in Abbildung ??b dargestellt. Von 486 Ereignissen hatte nur eines ($\hat{=}0.2\%$) eine hohe Untergrundsumme.

Untergrundsummen inelastischer J/Ψ-Ereignisse

Von 390 durch Monte-Carlo-Simulation [?] simulierten inelastischen J/Ψ-Ereignissen (siehe Abbildung ??a) wurden die Untergrundsummen berechnet und in Abbildung ??c dargestellt. Da es sich um Ereignisse mit höherer Multiplizität handelt, ist der Mittelwert der Untergrundsummen höher als bei den elastischen J/Ψ-Ereignissen. Von 390 Ereignissen haben nur 12 ($\hat{=}3.1\%$) eine hohe Untergrundsumme und 3 ($\hat{=}0.8\%$) eine sehr hohe Untergrundsumme.

Der Mittelwert der Untergrundsummen von als Physikereignisse akzeptierten Ereignissen sinkt in dem gleichen Maße, wie die Qualität der Auswahlkriterien verbessert wird (siehe Tabelle 6.2). Zusätzlich ist der Mittelwert der Untergrundsumme noch abhängig von der Klasse der untersuchten physikalischen Ereignisse. Je mehr Teilchen ein Ereignis im Endzustand hat, um so größer ist seine Untergrundsumme.

Untergrundsummen der von Subtrigger 54 getriggerten Ereignisse

Subtrigger 54 hat die Aufgabe, elastische J/Ψ-Ereignisse, die in zwei Leptonen zerfallen, herauszufiltern. Dies geschieht durch die Verknüpfung von 3 Triggerelementen:

1. $zvtx - small$, der im Vertexhistogramm einen Eintrag mit höchstens 5 Spuren und höchstens 3 Spuren in anderen Einträgen zuläßt;
2. $DC - R\Phi - TNEG$, der untersucht, ob mindestens ein negatives Teilchen erzeugt wurde;
3. $TOPO - BR$, der maximal drei Spuren in CJC1 und CJC2 zuläßt, von denen zwei sich in $x - y$-Ebene gegenüberliegen müssen.

Um nur von diesem Trigger herausgefilterte Ereignisse zu erhalten, wurden alle anderen Subtrigger und die vierte Triggerstufe deaktiviert. Die Untergrundsummen der so erhaltenen Ereignisse wurden berechnet und in Abbildung ??a abgebildet. Von den untersuchten 187 Ereignissen hatten 70 ($\hat{=}37.43\%$) eine hohe Untergrundsumme und 24 ($\hat{=}12.83\%$) eine sehr hohe Untergrundsumme. Zusammen hatten 50.26% aller von Trigger 54 herausgefilterten Ereignisse eine hohe Untergrundsumme. Die Ereignisse

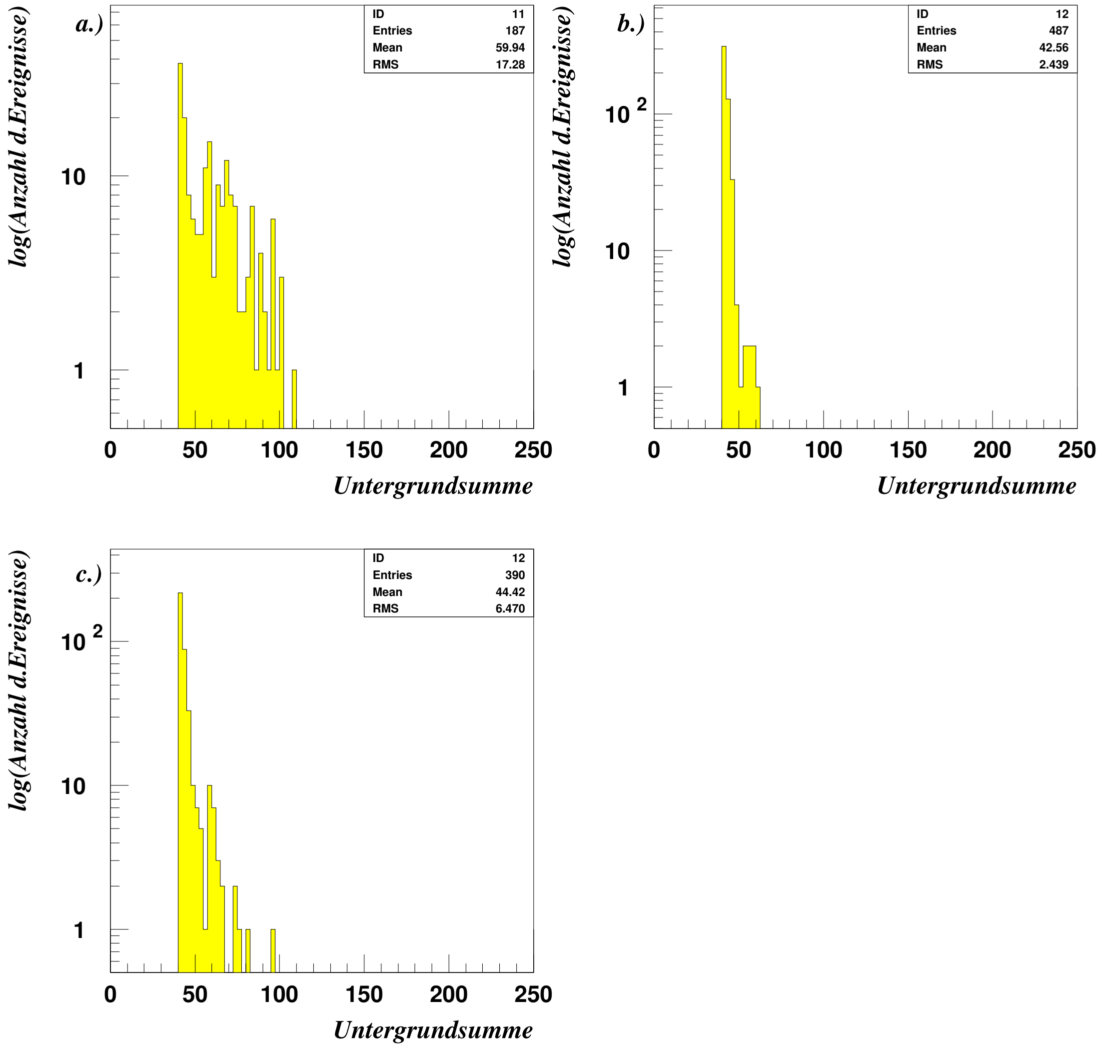

Abbildung 6.16: *a.) Untergrundsummen von Trigger 54 getriggerten Ereignissen; b.) Untergrundsummen von simulierten elastisch erzeugten $J/\Psi s$; c .) Untergrundsummen von simulierten inelastisch erzeugten $J/\Psi s$*

mit hohem Untergrund wurden nicht als gute J/Ψ-Kandidaten erkannt [?]. So könnte die Rate des Subtriggers um den Faktor 2 gesenkt werden, ohne physikalisch interessante Ereignisse durch die Untertgrundbewertung zu verlieren. Dies wird durch die Anwendung des RZ-Triggers auf simulierte elastische J/Ψ-Ereignisse bestätigt.

6.6 Untersuchung von 1994 aufgenommenen Untergrund- und Physikereigniskandidaten

Die Veränderungen am RZ-Triggersystem

Im Sommer 1994 sind Testmessungen mit dem kompletten RZ-Triggersystem durchgeführt worden. Es waren alle Karten und alle Konfigurationen in dem RZ-Triggersystem vorhanden. Als Wichtungen für die Untergrund-Spursegmente sind die in Kapitel 6.3.2 vorgeschlagenen Werte eingestellt worden. Für die *boundary*-Spursegmente ist die in Kapitel 6.3.1 beschriebene Änderung an der Analogpipeline durchgeführt worden. Der Wert der Untergrundsumme, ab dem das Triggerbit für hohen Untergrund gesetzt wird ist auf den, in dieser Arbeit ermittelten, Wert von für hohen Untergrund gesetzt worden.

Ab Frühjahr 1994 gibt der RZ-Trigger die vorgesehenen Triggerbits (siehe Kapitel 3.3.3) an den CTC weiter. Diese Triggerbits sind über die H1-Auslese überprüfbar.

6.6.1 Untersuchung von Physikereigniskandidaten

Es wurden 566 Ereignisse untersucht, die von der vierten Triggerstufe als Physikereignisse akzeptiert wurden. Von diesen Ereignissen war das Triggerbit für hohen Untergrund nur bei 92 Ereignissen ($\hat{=}$15.3%) gesetzt. Von diese 92 Ereignissen waren 53 Untergrundereignisse ($\hat{=}$9.4%) ohne Vertexspuren und 39 Ereignisse ($\hat{=}$6.9%) mit einer hohen Multiplizität.

Der R-Z-Trigger bewertet 15% der von der vierten Triggerstufe als Physik anerkannten Ereignisse als Untergrundereignisse. In der Simulation werden nur 12.1% mit einem hohen Untergrund bewertet.

6.6.2 Untersuchung von Untergrundereigniskandidaten

Von 566 Ereignissen, die von der vierten Triggerstufe aufgrund von Untergrundspuren als Untergrundereignisse klassifiziert wurden, war das Bit für hohen Untergrund bei 428 ($\hat{=}$75.6%) gesetzt. Bei den anderen Ereignissen waren keine oder nur vereinzelte Spuren aus dem Untergrund in den Driftkammern. In der Simulation wurden 70.2% der aufgrund von Untergrundspuren als Untergrundereignisse klassifizierten Ereignisse erkannt.

Kapitel 7

Zusammenfassung

7.1 Bewertung

In dieser Arbeit sollte untersucht werden, wie gut die elektronische Bildung der Untergrundsumme funktioniert und ob der Untergrundtrigger in der Lage ist, Nicht-Vertex-Untergrund zu identifizieren und von physikalisch interessanten Ereignissen zu trennen.

In Kapitel 6.1 wurde gezeigt, daß die elektronische Bildung der Untergrundsumme im Rahmen der durch die elektronischen Bausteine vorgegebenen Toleranzen zufriedenstellend funktioniert.

Der RZ-Trigger ist in der Lage, Untergrund aus dem $-z$-Bereich des Protonenstrahls zu erkennen. Von allen Ereignissen, die von der ersten Triggerstufe herausgefiltert wurden, bewertet der RZ-Trigger 27% mit einem Fehler von 3.1% (bei verbesserter Gewichtung) als Untergrund. Dies könnte zu einer Entlastung der vierten Triggerstufe beitragen. Die fehlklassifizierten Ereignisse beruhen auf der hohen Anzahl von Spiegelspuren, die bei Ereignissen hoher Multiplizität auftreten, sowie auf zufälligen Signaldrahtpulskombinationen.

Die Übereinstimmung bei der Bewertung von Untergrundereignissen zwischen der vierten Triggerstufe und dem RZ-Trigger ist gut. Das bedeutet, daß der RZ-Trigger schon 70.2% der aufgrund von Spuren aus dem $-z$-Bereich des Protonenstrahls als Untergrund erkannten Ereignisse schon in der ersten Triggerstufe herausfiltern könnte.

Der Mittelwert der Untergrundsummen sinkt proportional zur Verbesserung der Auswahlkriterien für ein Physikereignis (siehe Tabelle 6.2). Ereignisse mit vielen Teilchen im Endzustand haben im Mittel höhere Untergrundsummen als Ereignisse mit wenigen Teilchen im Endzustand.
Für Subtrigger, die auf Ereignisse mit wenigen Teilchen im Endzustand ansprechen sollen, kann die Einbeziehung des Untergrundbits für hohen Untergrund eine deutliche Verbesserung ihrer Effizienz bedeuten, ohne in Gefahr laufen zu müssen, interessante Ereignisse zu verlieren. Die Rate des Subtriggers 54 könnte um den Faktor 2 vermindert

werden, ohne Ereignisse zu verlieren, die dieser Subtrigger herausfiltern soll. Subtriggern, die auf Ereignisse mit vielen Teilchen im Endzustand ansprechen sollen, kann das Untergrundbit ebenfalls eine Hilfe sein, sollte aber mit einer Vertexaussage (siehe Kapitel 3.3.3) des RZ-Triggers gekoppelt sein, um nicht Ereignisse mit hoher Multiplizität fälschlich herauszufiltern.

Bei den Untersuchungen der im Jahre 1994 aufgenommenen Daten zeigte sich, im Rahmen der durch die elektronischen Bausteine gegebenen Toleranzen, eine gute Übereinstimmung der Simulation mit der Bildung der Untergrundsumme.

7.2 Ausblick

Für das Jahr 1994 werden beide Driftkammern überarbeitet, so daß ihre Effizienz und damit die des RZ-Triggers steigen sollte. Auch die Folgepulse sollten stark reduziert werden, was dazu führt, daß die daraus resultierenden Fehlkombinationen entfallen und so vielleicht die Wichtung für die *boundary*-Spursegmente erhöht werden kann.

Im Jahr 1994 wird der komplette RZ-Trigger seine Arbeit aufnehmen. In Kombination mit den Vertexaussagen des RZ-Triggers wird der Untergrundtrigger auch noch wesentlich seine Fähigkeit erhöhen, Ereignisse mit hoher Multiplizität von Untergrundereignissen zu trennen.

Das Untergrundbit für sehr hohen Untergrund wird 1995 verfügbar sein. Es wird die Rate von Subtriggern, die auf Ereignisse hoher Multiplizität ansprechen sollen, ohne die Gefahr physikalisch interessante Ereignisse zu verwerfen, senken können.

Der Wert, ab dem eine Untergrundsumme das Triggerbit für hohen Untergrund auslöst, muß in vielen Testläufen optimiert werden. Daraus kann noch eine Verbesserung der Effizienz des Untergrundtriggers resultieren.

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

[Ali91] A.Ali , D.Wyler
Heavy Quark Physics at HERA: Introduction and Overview
Physics at HERA, Volume 2 (1991)

[Bei93] K. Beigelböck
Simulation des Z-Kammer-Trigger beim H1-Detektor
Diplomarbeit (Juni 1993)

[Ben87] H.U.Bengtsson, T.Sjöstrand
The LUND MONTE CARLO for hadronic processes: PYTHIA *Version 4.8*
Comput.Phys.Commun.46:43, (1987)

[Blo87] V.Blobel
The BOS System - Dynamic memory management
Universität Hamburg, 1987

[Blo92] V.Blobel, u.a.
Central Tracker Software documentation
H1 Software Note 30, März 1992

[Blo94] V. Blobel
H1 Event Display Vers. 1.10/00
H1 Software

[Bro87] I.N.Bronstein, K.A.Semendjajew
Taschenbuch der Mathematik
Verlag Harri Deutsch, Frankfurt (1987)

[Els94] E. Elsen
List of L1-Triggers
Interne H1-Mitteilung (1994)

[Fra92] G. Franke
Z-Trigger Konfigurations- und Steuerprogramm
FH1T 1992-1994

[Gui94] Guido Schmidt
Persönliche Mitteilung
DESY Mai 1994

[H193] H1 Collaboration
The H1 Detector at HERA
DESY 93-103 (Juli 1993)

[Her87] HERA Workshop
Proceedings of the HERA Workshop
HERA Workshop(Oktober 1987)

[Hil92] I. Hildebrandt
The Adapter Card of the Central Z-Trigger
DESY-FH1T Layout (Dezember 1992)

[Hjb93] H.-J. Behrend
Programm zur Simulation des RZ-Triggers
DESY FH1T (1993)

[Hjb93a] H.-J. Behrend
Persönliche Mitteilung von H.-J.Behrend (Oktober 1993)

[Hjb93b] H.-J. Behrend
Persönliche Mitteilung von H.-J.Behrend (Oktober 1993)

[Jun91] H.Jung
The Monte Carlo Generator EPJPSI for J/Ψ-Mesons in High Energy Electron Proton Collisions
Proceedings of the Hera Workshop 3 (1991)

[Kle92] K. Kleinknecht
Detektoren für Teilchenstrahlung
Teubner-Verlag, Mainz (1992)

[Kre89a] H. Krehbiel
The Fanout Card of the Subsystem Triggert Controller
DESY-FH1T User's Manual (März 1989)

[Kre89b] H. Krehbiel
The Fast Card of the Subsystem Triggert Controller
DESY-FH1T User's Manual (Oktober 1989)

[Kre92] H. Krehbiel
The Triggerbits Card of the Subsystem Triggert Controller
DESY-FH1T User's Manual (März 1992)

[Lar91] L.Larsson
Simulation neuronaler Netzwerke und Test des Z-Kammer-Triggers am H1-Detektors
Diplomarbeit, Hamburg (1991)

[Leo87] W.R.Leo
Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments
Springer-Verlag (1987)

[Lev91] S. Levonian
Manual zu Eventlook
Software - Documentation, DESY(1991)

[Na92] O.Nachtmann
Elementarteilchenphysik - Phänomene und Konzepte
Vieweg; Braunschweig (1992)

[Nit94] D. Nitsch
Programm zur Berechnung der Untergrundsumme DESY FH1T (1994)

[Nov93] T. Novak
System Test Controllregisters
Persönliche Mitteilung (Oktober 1993)

[Ols90] J. Olszowska
The Slow Card of the Subsystem Triggert Controller
DESY-FH1T User's Manual (August 1990)

[Per90] D.H.Perkins
Introduction to High Energy Physics
Addison-Wesley Publishing Company, London (1990)

[Pro93] R. Prosi
Farmsubofficial; Programm zur Simulation des L4-Triggers

[Roe94] A. De Roeck
Results from the H1 Experiment at HERA
DESY 94-005 Jan 1994

[Roh87] K.-H. Rohe
Elektronik für Physiker
Teubner-Verlag, Haan (1987)

[Zim90] W. Zimmermann
The Input Card of the Central Z-Trigger
DESY-FH1T Layout Nr. 5253 (November 1990)

[Zim91a] W. Zimmermann
The Combination Card of the Central Z-Trigger
DESY-FH1T Layout Nr. 5266 (September 1991)

[Zim91b] W. Zimmermann
The Histogram Card of the Central Z-Trigger
DESY-FH1T Layout Nr. 5097 (Dezember 1991)

[Zim92] W. Zimmermann
The Controller Card of the Central Z-Trigger
DESY-FH1T Layout Nr. 5414 (Januar 1992)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich für die gute Zusammenarbeit in der H1 - tracking - Gruppe bedanken. Mein spezieller Dank gilt:

- Herrn Prof. Blobel für die Vergabe der Diplomarbeit und die Übernahme der Erstkorrektur,
- Herrn Prof. Büßer für die Übernahme der Zweitkorrektur,
- Herrn Dr. Behrend für die interessante Aufgabenstellung und engagierte Betreuung der Arbeit,
- Thomas Novak für die sehr gute Zusammenarbeit in elektronischen Fragen,
- Martin Kander für die sehr gute Zusammenarbeit am R-Z-Trigger,
- Guido Schmidt für die vielen hilfreichen Diskussionen,
- den Herren aus dem Elektroniklabor für die freundliche Unterstützung,
- Angelika Forsbeck für die vielen Gespräche,
- meinen Kommilitonen aus unserem Büro
- und meinen Eltern, die mir das Studium der Physik ermöglicht haben.

Ich versichere, diese Arbeit unter Angabe aller wesentlichen Hilfsmittel und Quellen selbständig angefertigt zu haben.

Hamburg, den