Untersuchungen am RZ-Trigger bei H1

Experimentelle Diplomarbeit von
Martin Kander

II. Institut für Experimentalphysik
Universität Hamburg

Hamburg
Februar 1995

Kurzfassung

Beim Elektron-Proton-Speicherring HERA werden Elektronen mit Protonen zur Kollision gebracht. Um eine Wechselwirkung zwischen den Elektronen und Protonen im Experiment erkennen zu können, sind Trigger erforderlich. In dieser Arbeit wird der RZ-Trigger des H1-Experiments, der seine Daten von Driftkammern erhält und daraus ein Z-Vertexhistogramm mit einer Auflösung von 5mm bildet, untersucht. Aus dem Z-Vertexhistogramm kann der Ereignisvertex gefunden und daraus eine Triggerentscheidung abgeleitet werden. Bei der Triggerentscheidung werden Spuren, die aus dem Bereich der einlaufenden Protonen stammen, mit herangezogen. Im Jahr 1994 wurde der RZ-Trigger erstmals komplett aufgebaut und getestet.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit Tests der Vertexfindung und der daraus folgenden Triggerentscheidung, sowie mit der Integration in das bestehende H1-Triggersystem. Als Ergebnis erhält man eine untere Abschätzung der Effizienz des RZ-Triggers, Ereignisse mit zwei Teilchenspuren zu finden. Weiterhin wird gezeigt, wie durch den RZ-Trigger, in Verbindung mit anderen Triggern, physikalisch interessante Wechselwirkungen erkannt werden könnten.

Abstract

At the electron-proton-storage-ring HERA electrons interact with protons. To recognize an interaction between electrons and protons, triggers are necessary. In this thesis the RZ-Trigger of H1, which receives its data from driftchambers and builds a z-vertex-histogram with a resolution of 5mm, is explored. From the z-vertex-histogram the vertex can be found and a triggerdecision can be generated. In this triggerdecision, tracks which are coming from the region of incoming protons are included. In the year 1994 the RZ-Trigger is built up and tested for the first time completely.

The topic of this thesis are tests of the part of vertexfinding and the resulting triggerdecisions and the integration of the RZ-Trigger in the existing H1-triggersystem. An estimate of a lower boundary for the efficiency of finding events with two tracks is given. Furthermore the possibility of the RZ-Trigger combined with other triggers to recognize interactions, which are interesting for physics, is analysed.

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1

Einleitung

Der Speicherring HERA[1], bei dem erstmals Elektronen mit Protonen zur Kollision gebracht werden, wurde im Jahr 1992 am **D**eutschen **E**lektronen **Sy**nchrotron (DESY) in Betrieb genommen. Im Jahr 1994 wurden die Elektronen durch Positronen ersetzt. Das Ziel von HERA ist die genaue Untersuchung der Struktur des Protons. Die mögliche Auflösung, die mit Hilfe der Elektronen, bzw. Positronen erreicht wird, wird durch das Quadrat des Viererimpulsübertrages Q^2 vom Positron (Sollenergie: 30GeV) auf das Proton (Sollenergie: 820GeV) beschrieben. Man erreicht Werte bis $Q^2 = 4 \cdot 10^4 \mathrm{GeV}^2$, die ungefähr um den Faktor 100 höher sind als man sie bei Experimenten mit festem Target erreichen kann. An vier Wechselwirkungspunkten sind Experimente aufgebaut. Eines davon ist H1, in dessen Rahmen diese Arbeit durchgeführt wurde.

Aufgrund des kleinen Wirkungsquerschnitts für physikalisch interessante Ereignisse werden bei HERA Ereignisraten erzielt, die nur einen Bruchteil ($\approx 10^{-5}$) der Untergrundereignisse ausmachen. Bei einer Durchdringungsperiode der Protonen- und Elektronen-, bzw. Positronenpakete von 96ns können bis zu 10^7 Kollisionen pro Sekunde stattfinden. Die Rate des Untergrundes, der u.a. aus Wechselwirkungen der Protonen mit der Strahlrohrwand oder Restgasmolekülen besteht, beträgt ungefähr 100kHz. Um alle Daten aus dem Detektor auslesen zu können (Auslesezeit: ca. 1ms) und die damit verbundene Totzeit, in der keine Aufzeichnung möglich ist, klein zu halten, muß die Untergrundrate auf ungefähr 50Hz reduziert werden. Daher ist es wichtig eine schnelle selektive Elektronik, genannt Trigger, zu benutzen, die die Untergrundereignisse frühzeitig herausfiltert, um somit möglichst viele Physikereignisse aufzuzeichnen.

Ereignisse mit hohem Impulsübertrag lassen sich recht leicht durch die den ganzen Raumwinkel überdeckenden elektromagnetischen und hadronischen Kalorimetern nachweisen, da das primäre Elektron unter großem Winkel gestreut wird (bzw. in ein Neutrino umgewandelt wird) und somit viel Energie in ihnen deponiert wird. Schwieriger ist es dagegen Prozesse mit geringen Impulsüberträgen von $Q^2 \lesssim 10\mathrm{GeV}^2$ zu erkennen.

[1]Hadron-Elektron-Ring-Anlage

Dazu gehören Streuungen an weichen Partonen, bei denen das Positron nur wenig abgelenkt wird und über Pomeron-Austausch und Photon-Gluon-Fusion Quarks erzeugt. Bei diesen Ereignissen wird nur wenig Energie im Kalorimeter deponiert und zusätzliche Informationen von Spur- und Vertexkammern werden nötig, die in der selektiven Elektronik verarbeitet werden.

Der RZ-Trigger ist ein Trigger, der die Informationen von Driftkammern für eine genaue Vertexbestimmung sowie eine Erkennung des Nicht-Vertex-Untergrundes für seine Triggerentscheidung nutzt.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Möglichkeit der Vertexbestimmung und den daraus ableitbaren Triggerentscheidungen des RZ-Triggers für physikalisch interressante Ereignisse.

In Kapitel 2 werden HERA und der H1-Detektor beschrieben. Dabei wird besonders auf die für den RZ-Trigger wichtigen Driftkammern CIZ und COZ eingegangen. Kapitel 3 beschreibt das H1-Triggersystem und die Funktionsweise des RZ-Triggers. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Logik zur Vertexfindung und den theoretischen Möglichkeiten eine Triggerentscheidung zu generieren. In Kapitel 4 wird dann auf Labortests im Frühjahr 1994 und die daraus zu erwartenden Möglichkeiten des RZ-Triggers eingegangen. Die während des HERA-Betriebs 1994 gemachten Messungen und wichtigen Einstellungen, die der Optimierung dienen, werden in Kapitel 5 beschrieben und bewertet. Kapitel 6 befaßt sich mit den Triggerelementen des RZ-Triggers und der Effizienzbestimmung für zwei gefundene Spuren. Eine Zusammenfassung der gewonnenen Ergebnisse und einen Ausblick auf einen weiteren Ausbau des RZ-Triggers gibt Kapitel 7.

Kapitel 2

HERA und der H1-Detektor

Abbildung 2.1 gibt einen Überblick über den Speicherring HERA, der in Abschnitt 2.1 beschrieben wird. Dabei wird in Abschnitt 2.1.1 besonders auf die Physik bei HERA eingegangen. Abschnitt 2.2 beschreibt den Detektor H1.

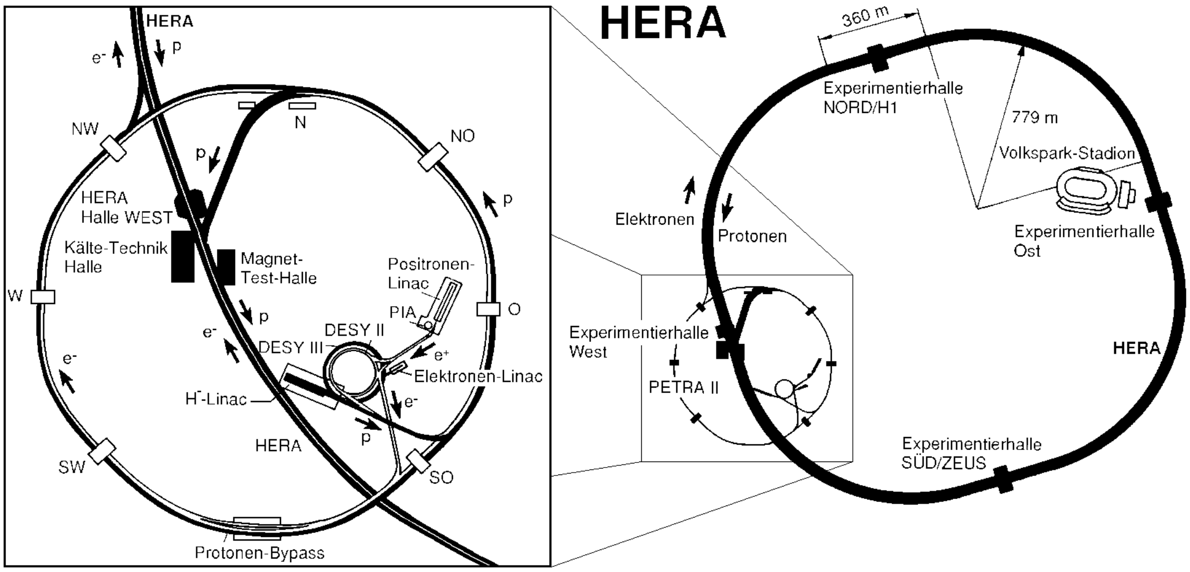

Abbildung 2.1: *Schematische Ansicht des Beschleunigersystems* HERA

2.1 HERA

Der Speicherring HERA (siehe Abbildung 2.1) befindet sich in einem 6.3km langen ringförmigen Tunnel, in dem Elektronen, bzw. Positronen und Protonen in getrennten Ringen (HERA-e^+ und HERA-p) gegenläufig umlaufen. An zwei sich diametral

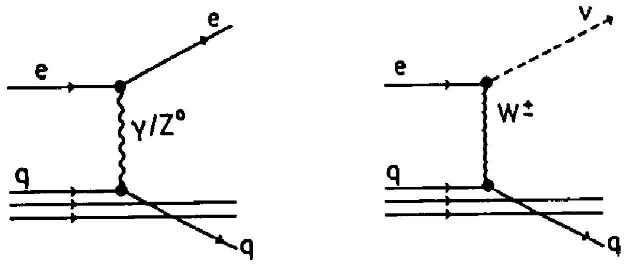

Abbildung 2.2: *NC (neutral-current)- und CC (charged-current)- Ereignis*

gegenüberliegenden Wechselwirkungspunkten, befinden sich die Experimente H1 und ZEUS. An den anderen beiden Wechselwirkungspunkten sind die im Aufbau befindlichen Experimente HERA B und HERMES. Die Protonen erreichen Energien von $E_p \sim 820$GeV und die Elektronen, bzw. Positronen von $E_e \sim 27.6$GeV (Sollwert: $E_e = 30$GeV). Daraus erhält man Schwerpunktsenergien bis zu $\sqrt{s} = 314$GeV.

Da die bei HERA erreichten Werte für den Viererimpulsübertrag Q^2 um zwei Größenordnungen über den erreichbaren Viererimpulsüberträgen von Festtarget-Experimenten liegen, erhält man eine um mehr als eine Größenordnung bessere räumliche Auflösung $\Delta \approx \hbar/Q$.

1994 erreichte HERA eine integrierte Luminosität $L \approx 6\text{pb}^{-1}$.

2.1.1 Physik bei HERA

Mit der elastischen Streuung zwischen Elektronen und Protonen kann die innere Struktur des Protons untersucht werden. Allgemein wird die Wechselwirkung zwischen Lepton und Proton durch Austausch von Eich-Bosonen beschrieben [Per91].

Bei der Reaktion $e + p \to l + X$, wobei e das einfallende Lepton (bei HERA jetzt ein Positron), p das einfallende Proton, l das gestreute Lepton und X das gestreute System aus Hadronen bedeuten, gibt es zwei dominierende Prozesse bei HERA:

- tief inelastische Streuung unterschieden in (siehe Abbildung 2.2):
  - Austausch von γ und Z^0, genannt NC-Ereignisse[1] (siehe Abbildung 2.4a.)).
  - Austausch von W^+ oder W^-, genannt CC-Ereignisse[2](siehe Abbildung 2.4b.)).

[1] Neutral Current=neutraler Strom
[2] Charged Current=geladener Strom

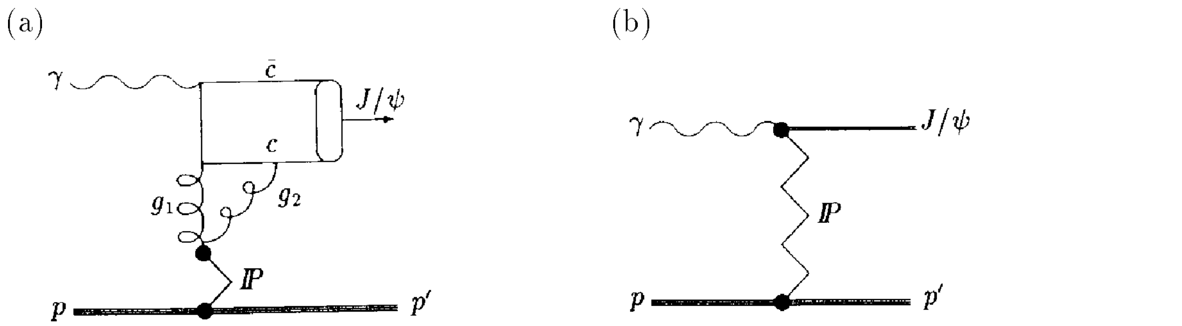

Abbildung 2.3: *(a) Zwei Gluonen Pomeron Modell für elastische J/Ψ-Produktion. (b) Elastische J/Ψ-Produktion über Pomeron-Austausch*

- Photoproduktion, z.B. J/Ψ-Ereignisse ($Q^2 \simeq 0$) (siehe Abbildung 2.3 und Abbildung 2.4c.)).

Für die gesamte Ereigniskinematik der Lepton-Proton-Streuung genügt, neben der Gesamtenergie, die Angabe zweier unabhängiger Variablen. Üblich sind die Variablenpaare (x, Q^2) oder (x, y)[HER87]. Dabei bedeutet Q^2 das Quadrat des Viererimpulsübertrages und x und y sind die dimensionslosen Bjorken Skalenvariablen, für die gilt: $0 \leq (x, y) \leq 1$.

Man kann diese Größen aus der Energie E_l und dem Winkel θ_l zwischen dem gestreuten Lepton und der Strahlrichtung des Protons bestimmen. Mit p_e und p_l, den Vierervektoren des einfallenden bzw. gestreuten Leptons und E_e der Energie des einfallenden Leptons erhält man:

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

Die Bjorken Variable x, die im Parton-Modell den Anteil des gestoßenen Partons am Gesamtimpuls des Protons beschreibt, und die Bjorken Variable y, die den Energietransfer vom Elektron auf das Proton beschreibt, werden wie folgt berechnet:

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

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

Dabei sind E_p die Energie und P der Viererimpuls des Protons, und $s \equiv (p_e + P)^2 \approx 4E_e E_p$ ist das Quadrat der Gesamtenergie im Schwerpunktsystem. Die

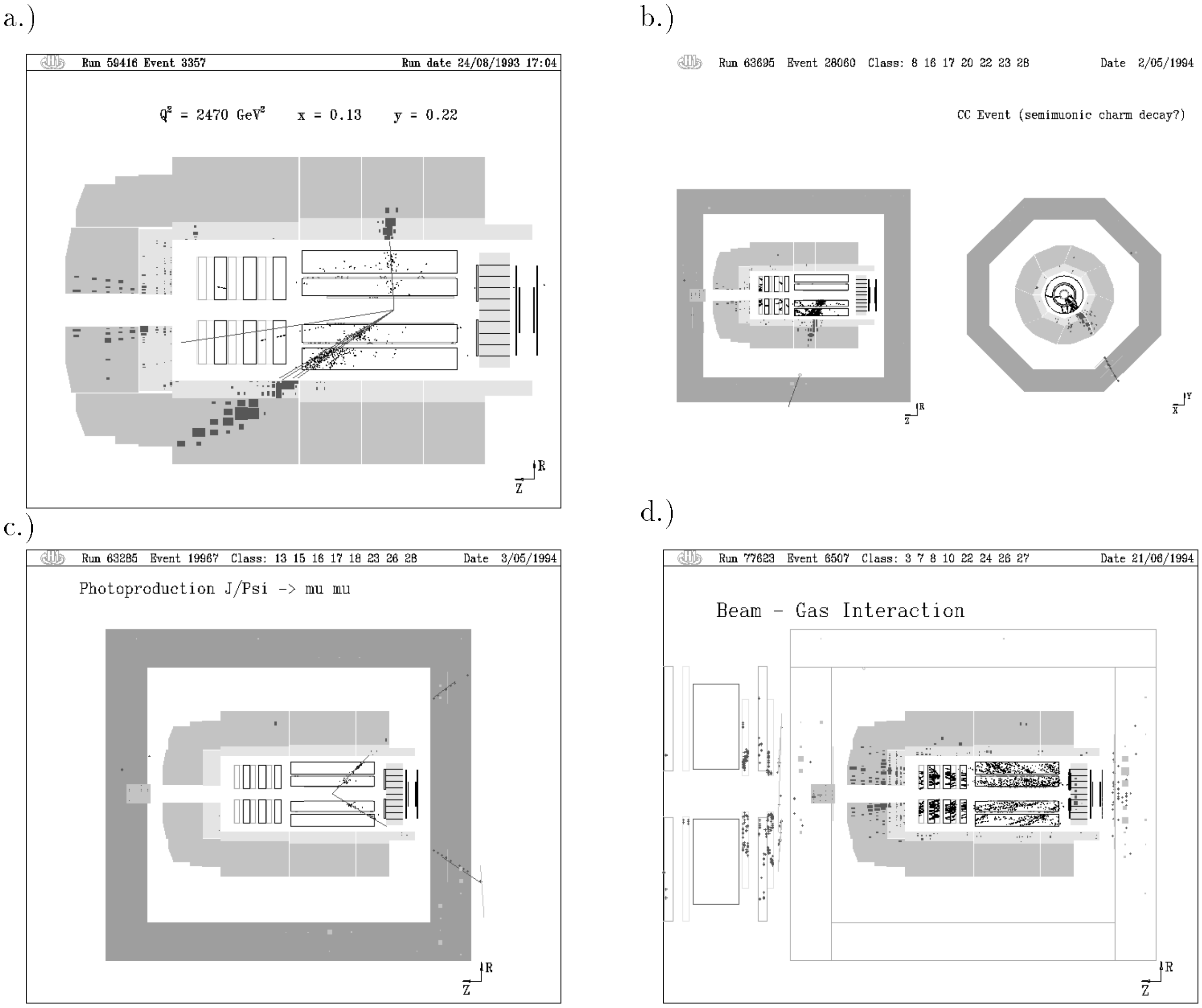

Abbildung 2.4: *a.) NC-Ereignis b.) CC-Ereignis c.) J/Ψ-Ereignis d.) Strahl-Wand-Ereignis (Untergrund)*

Näherungen besagen, daß die Massen von einlaufendem und gestreutem Lepton und die des Protons vernachlässigt wurden, was bei den hohen Energien, die bei HERA benutzt werden, möglich ist.

Der in dieser Arbeit untersuchte RZ-Trigger soll hauptsächlich Photoproduktionsereignisse erkennen. Bei diesen Reaktionen wird wenig Energie transversal abgestrahlt, das heißt, daß das Elektron in der Strahlröhre verbleibt und das Proton mit einem praktisch reellen Photon wechselwirkt. Von großer Bedeutung ist die Klasse der Photon-Gluon-Fusion und die Erzeugung schwerer Quarks. Die Rekonstruktion von Ereignissen mit schweren Quarks (Open Charm, J/ψ) läßt dann Rückschlüsse auf die Gluonverteilung im Proton zu.

2.2 Der H1-Detektor

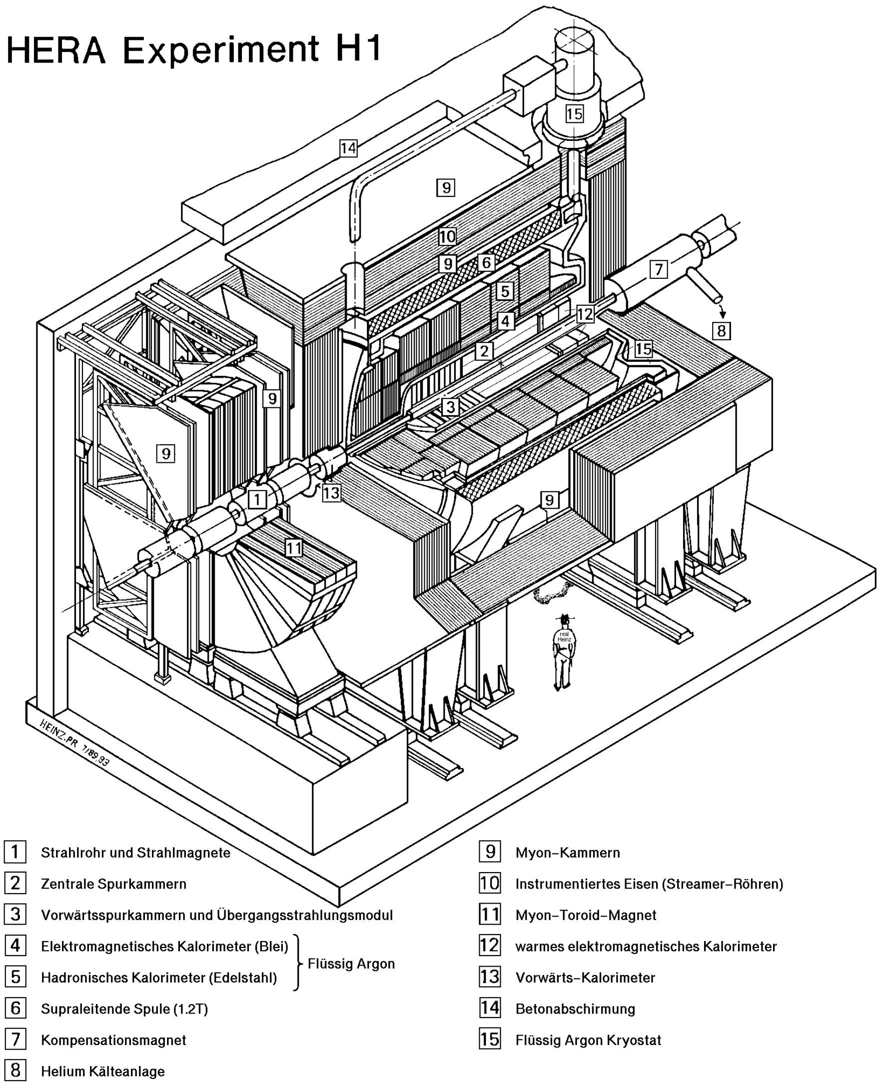

Abbildung 2.5: *Schematische Ansicht des H1-Detektors parallel zur Strahlachse*

Der H1-Detektor ist in Abbildung 2.5 dargestellt. Die im Speicherrring umlaufenden Protonen laufen von rechts, die Elektronen, bzw. Positronen von links ein. Aufgrund der unterschiedlichen Strahlenergien ist die Topologie der erwarteten Positron-Proton-Streuungen in Richtung des Protons (Vorwärtsrichtung) ausgerichtet. Deshalb ist auch der Detektor asymmetrisch bezüglich Vorwärts- und Rückwärtsrichtung aufgebaut.

Mit dem Detektor soll der Vierervektor isolierter Teilchen gemessen werden. Die Spur- und Impulsbestimmung bei niedrigen Energien erfolgt mit den zentralen Spurkammern $\boxed{2}$ (siehe Abschnitt 2.2.1) und dem Vorwärtsspursystem. Ein Teil des zentralen

Spurkammersystems, die Z-Driftkammern, werden vom RZ-Trigger genutzt und werden daher später in Abschnitt 2.3 noch eingehender behandelt.

Mit dem elektromagnetischen Kalorimeter $\boxed{4}$ und dem hadronischen Kalorimeter $\boxed{5}$, die die Spurkammern umgeben, können die Energie von Teilchen und Jets bestimmt, sowie Teilchen identifiziert werden. Eine kurze Beschreibung der Kalorimeter erfolgt in Abschnitt 2.2.2..

Um Impulsmessungen durchführen zu können, ist um die Kalorimeter eine supraleitende Spule $\boxed{6}$ gebaut. Sie erzeugt ein weitgehend homogenes Magnetfeld von $1.2T$, welches parallel zur Strahlachse verläuft. Die Impulsmessungen lassen sich dann auf die Spurkrümmungen zurückführen.

An die Spule schließt sich das instrumentierte Eisen $\boxed{10}$ an, daß zur Rückführung des magnetischen Flusses dient. Zur Myonenidentifikation sind in das Eisen Streamerkammern eingelassen.

Das **H1-Koordinatensystem** ist ein rechtshändiges kartesisches System. Die x-Achse zeigt in Richtung des Mittelpunktes von HERA, die y-Achse nach oben und die z-Achse in Richtung der einlaufenden Protonen.

2.2.1 Das Spurkammersystem

Das Spurkammersystem (Abbildung 2.6), bestehend aus den zentralen Spurkammern, dem Vorwärtsspurkammersystem und der Rückwärtsproportionalkammer, ist um das Strahlrohr angeordnet. Es ermöglicht die Spurrekonstruktion und Teilchenidentifikation und dient als Spurtrigger. Der Impuls isolierter geladener Teilchen kann bestimmt und Jets mit hoher Teilchendichte können rekonstruiert werden.

Die Vertexregion, in der sich die Protonen- und Elektronenpakete durchdringen, hat aufgrund der gaußförmigen Zeitstruktur des Protonenpaketes ($\sigma_z \approx 10$cm) eine Ausdehnung von ± 25cm um den nominellen Wechselwirkungspunkt in der Strahlachse.

Zentrale Spurkammern

Die zentralen Spurkammern bestehen aus den zentralen Jetkammern CJC1[3] und CJC2, den Driftkammern CIZ[4] und COZ[5] und den Proportionalkammern CIP[6] und COP[7]. Sie schließen die Vertexregion in einem Polarwinkelbereich von $25° \leq \theta \leq 155°$ ein. Die Drähte der Jetkammern sind parallel zur Strahlrohrebene, und um 150μm alternierend

[3]**C**entral **J**et **C**hamber = Zentrale Jetkammer
[4]**C**entral **I**nner **Z**-Chamber = Zentrale innere Z-Kammer
[5]**C**entral **O**uter **Z**-Chamber = Zentrale äußere Z-Kammer
[6]**C**entral **I**nner **P**ropchamber= Zentrale innere Proportionalkammer
[7]**C**entral **O**uter **P**ropchamber= Zentrale äußere Proportionalkammer

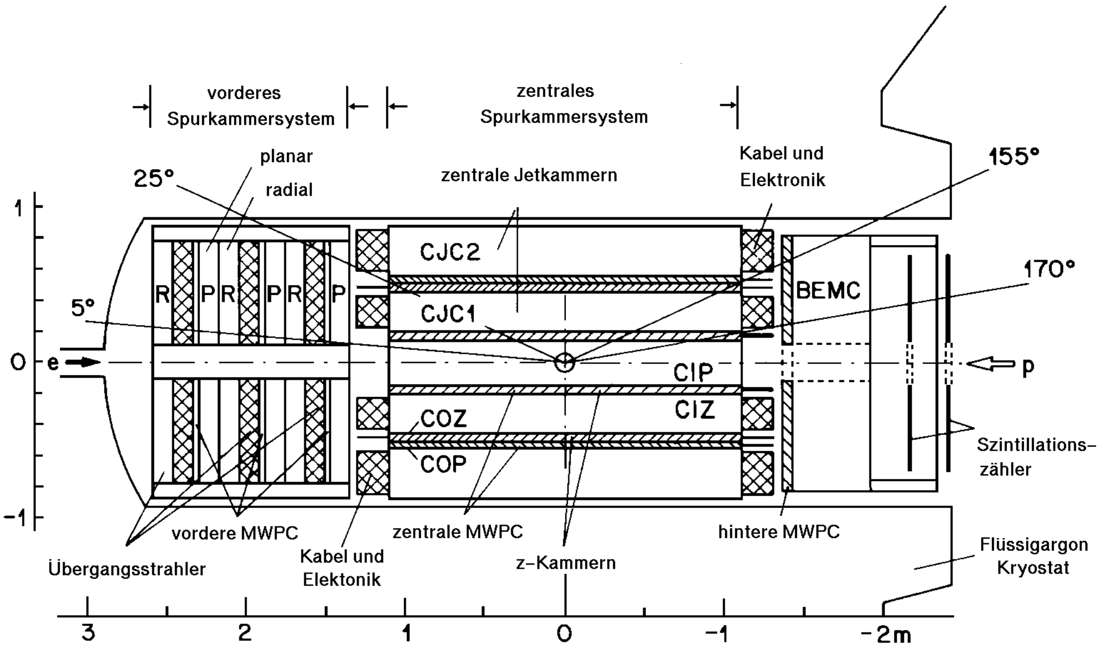

Abbildung 2.6: *Das Spurkammersystem des H1-Detektors*

versetzt, gespannt. Sie erlauben eine Auflösung in der $r\phi$-Ebene von $\sigma_{r\phi} \approx 170\mu$m. Die Auflösung in z-Richtung beträgt $\sigma_z \approx 2.2$cm, da die z-Position der Spur über Ladungsteilung gewonnen wird. Die z-Vertex-Driftkammern CIZ und COZ sind dünne Driftkammern, deren Signaldrähte polygonförmig in einer Ebene senkrecht zur Strahlachse gespannt sind. Sie ermöglichen eine Auflösung in z-Richtung von $\sigma_z \approx 350\mu$m.

Die Impulsbestimmung im zentralen Spursystem erfolgt mit einer Genauigkeit von $\frac{\sigma_p}{p^2} \simeq 0.01\mathrm{GeV}^{-1}$. Der zur Teilchenidentifikation verwendete Energieverlust kann bis zu $\frac{\sigma(dE)}{dE} = 10\%$ bestimmt werden [H193].

Die Vorwärtsspurkammer

Die Vorwärtsspurkammer setzt sich aus drei hintereinander angeordneten Modulen zusammen. Jedes Modul besteht aus einer planaren und einer radialen Driftkammer, einer Vieldrahtproportionalkammer und einem Übergangsstrahldetektor. Die Driftkammern liefern die Spurparameter, die Radialkammern registrieren zusätzlich die Übergangsstrahlung und dienen somit der Elektron-Pion-Trennung in einem Winkelbereich von $5° < \theta < 25°$ bei einer Auflösung von $\sigma_{r\phi} = 170\mu$m und $\sigma_{xy} = 210\mu$m [H193]. Die Proportionalkammern dienen Triggerzwecken im Vorwärtsbereich.

2.2.2 Das Kalorimeter

Das Kalorimetersystem des H1-Detektors besteht aus einem Flüssig-Argon-Kalorimeter für den Winkelbereich $4° \leq \theta \leq 153°$, einem Silizium-Kupfer-Kalorimeter für den Vorwärtswinkelbereich von $0.7° \leq \theta \leq 3.3°$ und einem Blei-Szintillator-Kalorimeter (BEMC) für den rückwärtigen Winkelbereich von $151° \leq \theta \leq 177°$ [H193]. Das Kalorimetersystem dient zur Energiebestimmung, zur Identifikation von Teilchen und zum Nachweis von Jets.

Das Flüssig-Argon-Kalorimeter

Das Flüssig-Argon-Kalorimeter [CAL93] im Inneren der supraleitenden Spule befindet sich in einem einzigen großen Kryostaten. Es besteht aus einem elektromagnetischen Kalorimeter, das an die Spurkammern anschließt, und einem hadronischen Kalorimeter, welches die nächste Schicht bildet.

Das *elektromagnetische* Kalorimeter besteht aus Blei-Absorberplatten (20 bis 30 Strahlungslängen X_0) mit dazwischenliegenden Spalten, die mit flüssigem Argon als Ionisationsmaterial gefüllt sind. Im Vorwärtsbereich hat es 7 Lagen und im Zentralbereich 3 Lagen. Die Energieauflösung beträgt $\sigma(E)/E \approx 0.10/\sqrt{E}$.

Im *hadronischen* Kalorimeter werden Stahlplatten als Absorber verwendet. Dazwischen befinden sich wieder Spalten mit flüssigem Argon als Ionisationsmaterial . Es besteht im Zentralbereich aus 4 hadronischen Lagen (5 Wechselwirkungslängen) und aus 6 Lagen in Vorwärtsrichtung (8 Wechselwirkungslängen). Die Energieauflösung beträgt $\sigma(E)/E \approx 0.55/\sqrt{E}$.

2.3 Driftkammern

Driftkammern dienen der Impulsmessung bewegter geladener Teilchen. Das wird über den direkten Nachweis von Elektronen und Ionen ermöglicht. Die geladenen Teilchen entstehen beim Durchgang ionisierender Strahlung durch eine gasgefüllte Kammer, in der zur Ladungstrennung ein elektrisches Feld herrscht.

2.3.1 Funktionsweise

Geladene Teilchen ionisieren entlang ihrer Flugbahn durch das Kammergas die Gasmoleküle. Ohne ein elektrisches Feld würden die Ladungsträger aufgrund der thermischen Bewegung in den Driftkammern schnell rekombinieren. Durch das vorhandene nahezu homogene elektrische Feld (siehe Abbildung 2.7) werden die freien Ladungen zur entsprechenden Elektrode gelenkt, und dadurch getrennt. Aufgrund von Kollisionen der

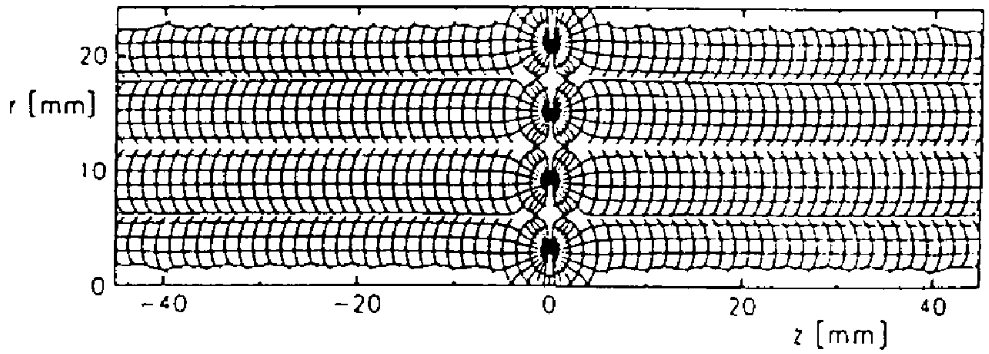

Abbildung 2.7: *Verlauf des elektrischen Feldes in einer Driftzelle.*

Elektronen mit Gasmolekülen, verlieren diese so viel Energie, daß sich schnell eine konstante Driftgeschwindigkeit einstellt. Erst in dem Gasverstärkungsbereich, der sich in der Nähe der Signaldrähte befindet, werden die Elektronen aufgrund des höheren elektrischen Feldes stärker beschleunigt und es kommt zu einem lawinenartigen Anstieg der Elektronenzahl. Der daraus entstehende Strompuls kann an den Signaldrähten gemessen werden. Die Ortskoordinate x des Teilchendurchgangs relativ zum Anodendraht ist dann durch die Beziehung $x = \int_{t_0}^{t_1} v_D(t)dt$ gegeben. Durch das annähernd homogene elektrische Feld entlang des Driftweges erhält man einen weitgehend angenähert linearen Zusammenhang zwischen Driftgeschwindigkeit v_D und primärem Ionisationsort:

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

.

Die Zeitdifferenz Δt ist gegeben durch die Driftzeit der durch primäre Ionisationsprozesse zur Zeit t_0 erzeugten Elektronen bis zu deren Eindringen in den Gasverstärkungsbereich um den Anodendraht mit Lawinenbildung zur Zeit t_1 [Kle92].

2.3.2 Die Z-Driftkammern CIZ und COZ

Die Driftkammern CIZ und COZ, von denen der RZ-Trigger seine Daten erhält, sind – wie in Abbildung 2.6 zu sehen – zylindrisch um die Strahlachse mit den Radien [H193] $r_{CIZ} = 200$mm und $r_{COZ} = 470$mm angeordnet. Die zentrale innere Kammer CIZ besteht aus 15 dünnen Zellen von denen jede 120mm lang ist. Die zentrale äussere Kammer COZ besteht aus 24 dünnen Zellen mit einer Länge von jeweils 90mm (siehe Abbildung 2.8).

Abbildung 2.9 zeigt eine Driftkammerzelle der CIZ und COZ schematisch im Querschnitt. Die Zellen beider Kammern haben 4 Drähte pro Zelle, die polygonförmig

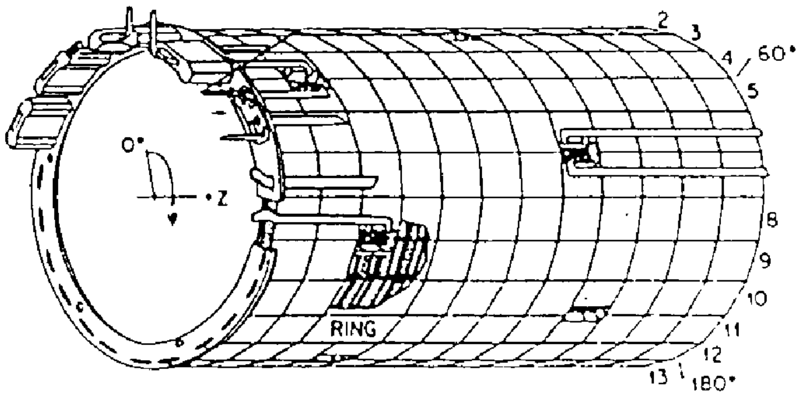

Abbildung 2.8: *Driftkammer COZ*

mit wachsendem Radius um die Strahlachse gespannt sind. Bei der Driftkammer CIZ sind die Signaldrähte der ersten neun Zellen, in positive Z-Richtung gesehen, um 135° und die letzten sechs Zellen um 45° gegen die Strahlrichtung geneigt. Man erhält eine Auflösung der z-Koordinate von ungefähr 350μm. Die Driftkammerzellen werden von negativen zu positiven z-Koordinaten beginnend mit eins durchgezählt, d.h. CIZ von 1 bis 15 und COZ von 1 bis 24.

Spurerkennung in den Driftkammern CIZ und COZ

Die Teilchenspuren in den Driftkammern können durch Messungen der Ionisationsorte mit den Drähten der Zellen, die mit wachsendem Radius gespannt sind (Abbildung 2.9b), rekonstruiert werden. Bei der Messung des Signaldrahtpulses kann nicht nachvollzogen werden, von welcher Seite die Ladungswolke den Anodendraht erreicht hat. Deshalb kommt es zu sogenannten Spiegelspuren (siehe Abbildung 2.10). Für die den Ort bestimmende Logik ist der Ort daher nicht eindeutig bestimmbar und es werden immer zwei gleichberechtigte Spuren rekonstruiert. Das heißt für die Driftkammer COZ, daß zu jeder Spur, die auf die Vertexregion zeigt, eine weitere Spur, die aus dem *Untergrund* kommt und umgekehrt, rekonstruiert wird. Dabei ist der Untergrund der Bereich außerhalb der Vertexregion. Bei der Driftkammer CIZ ist das nicht Fall, da die Signaldrahtebenen geneigt sind. Das elektrische Feld des Drahtes, der entsprechend der Neigung am entferntesten zur Kathodenwand ist (in Abbildung 2.10 Draht vier für die linke Halbzelle und Draht eins für die rechte Halbzelle), wird durch das elektrische Feld des vorherigen Drahtes abgeschirmt. Es sind also immer nur drei Drähte effizient und aufgrund des Fehlens eines Signaldrahtpulses in Draht eins oder Draht vier läßt sich die Teilchenspur eindeutig einer Seite zuordnen. Für Spuren, die in der Nähe der Signaldrähte die Driftzelle durchfliegen, so daß das elektrische Feld des jeweiligen letzten Drahtes noch nicht vollständig abgeschirmt ist, gilt das nicht.

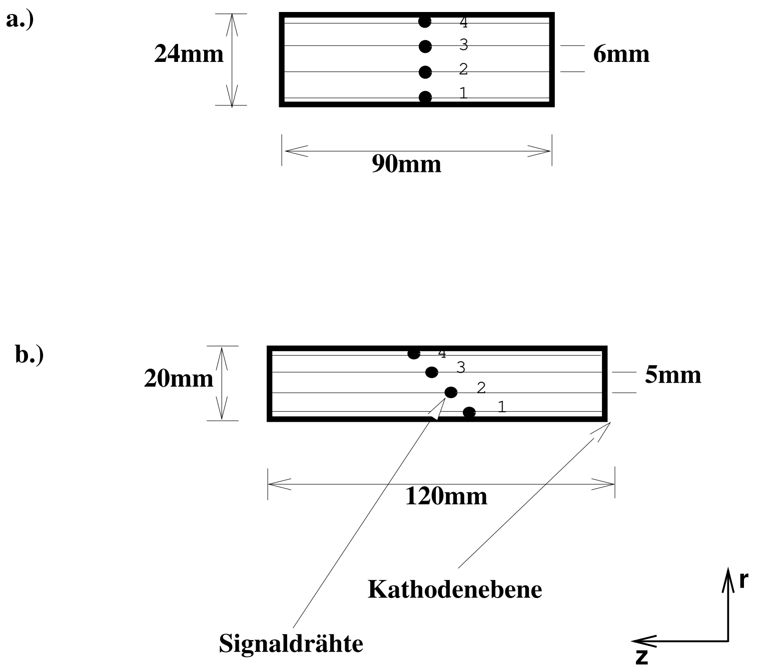

Abbildung 2.9: *a.) Driftkammerzelle aus der Z-Vertex-Drifkammer COZ. b.) Driftkammerzelle aus der Z-Vertex-Drifkammer CIZ.*

In der Driftzelle ist ein Zuordnen der Seite, in der die Teilchenspur entstand dennoch dann möglich, wenn die Teilchenspur eine das elektrische Feld begrenzende Kathodenebene schneidet. Dann werden in zwei benachbarten Zellen Teilchen ionisiert und es können nur aufgrund von Koinzidenzen von Signaldrahtpulsen in beiden Zellen Teilchenspuren rekonstruiert werden. Dadurch ist der Ort der Teilchenspur eindeutig bestimmt.

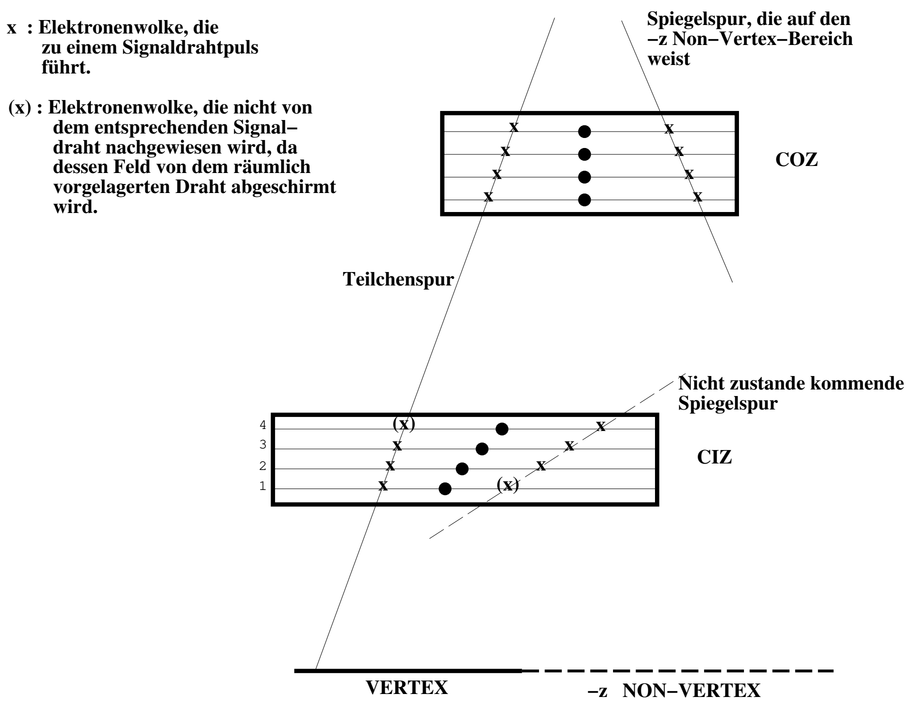

Abbildung 2.10: *Spiegelspuren in CIZ und COZ*

Kapitel 3

Trigger

Ein Trigger ist eine selektive Elektronik, die bei H1 die Aufgabe hat, Ereignisse zu erkennen, möglichst zu klassifizieren und eine Datennahme zu starten, um eine spätere Analyse zu ermöglichen. Das heißt, er soll physikalisch interessante Ereignisse (folgend *Physikereignisse* genannt) und Untergrundereignisse (folgend *Untergrund* genannt) trennen. Zusätzlich soll die Rate von zu zu häufig auftretenden Physikereignissen gesenkt werden. Wenn möglich soll dabei schon eine Beurteilung der Ereignisse, zum Beispiel hinsichtlich Multiplizität oder Ladungsvorzeichen, vorgenommen werden.

Bei HERA werden sehr hohe Viererimpulsüberträge Q^2 erzielt. Ereignisse mit hohem Q^2 (*charged-current- und neutral-current-Ereignisse*) sind durch die in den Kalorimetern deponierte Energie zu erkennen und daher leicht vom Untergrund zu trennen. Ein weiteres Entscheidungsmerkmal bei *neutral-current*-Ereignissen ist das aus dem Elektronenstrahl abgelenkte Elektron, das vom zentralen elektromagnetischen Kalorimeter (siehe Abbildung 2.5$\boxed{4}$) oder dem hinteren elektromagnetischen Kalorimeter BEMC[1](siehe Abbildung 2.6) nachgewiesen wird. Ereignisse mit kleinem Q^2, z. B. Photon-Gluon-Fusion, können nicht mit Kalorimetern nachgewiesen werden. Es muß durch Spurtrigger die Ereignistopologie möglichst genau gemessen werden, um Physikereignisse und Untergrund zu unterscheiden.

Wichtige Untergrundereignisse sind bei H1:

- Wechselwirkung defokussierter Protonen mit dem Strahlrohr (*beam-wall-events*[2])
- Wechselwirkung der Protonen und Elektronen, bzw. Positronen mit dem Restgas im Strahlrohr (*beam-gas-events*[3]) (siehe Abbildung 2.4d.)
- Synchrotronstrahlung, durch die Ablenkung der Positronen, bzw. Elektronen in den Strahlführungsmagneten.

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

- Kosmische Strahlung

Die Rate der Physikereignisse durch Photoproduktion beträgt bei H1 ungefähr $1kHz$, die der Untergrundereignisse beträgt ungefähr das hundertfache. Bei einer Auslesegeschwindigkeit von ca. $3\frac{\text{MByte}}{\text{s}}$ und der Rohdatenmenge von ca. $100\frac{\text{kByte}}{\text{Ereignis}}$ ist daher eine Unterdrückung des Untergrundes und ein Herunterskalieren von Physikereignissen mit hohen Raten nötig. Diese Aufgabe wird bei H1 von vier Triggerstufen gelöst.

Folgend wird in Abschnitt 3.1 das H1-Triggersystem skizziert, anschließend werden in Abschnitt 3.2 einige Spur- und Untergrundtrigger aufgeführt und abschließend wird der RZ-Trigger beschrieben.

3.1 Das H1-Triggersystem

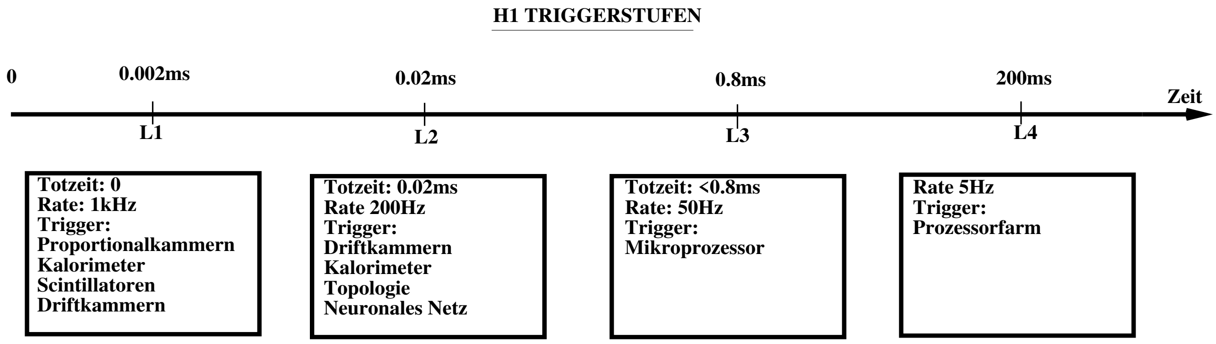

Abbildung 3.1: *Die vier Triggerstufen bei H1*

Das H1-Triggersystem, das die Ereignisrate auf 5Hz, bei der alle Ereignisdaten abgespeichert werden können, reduziert, besteht aus vier Triggerstufen[4] (siehe Abbildung 3.1 und [Els93]). Den Stufen, genannt L1, L2, L3 und L4, ordnet man eine Komplexität zu. Mit höher werdender Stufe können zunehmend komplexere Bedingungen untersucht werden, da jede Stufe zusätzlichen Untergrund erkennt und somit die Triggerrate nach jeder Stufe abnimmt, so daß mehr Bearbeitungszeit zur Verfügung steht.

Zur Zeit sind die Triggerstufen L2 und L3 noch nicht implementiert. Daher hat L1 die Aufgabe, die Ereignisrate auf 50Hz zu reduzieren.

3.1.1 Triggerelemente und Subtrigger

Jeder Trigger der ersten Stufe liefert Statusbits, sogenannte Triggerelemente, an den Zentral-Trigger (CTC[5]). Die 128 Triggerelemente enthalten Informationen über das

[4] genannt Level

[5] CTC = Central Trigger Controller

Erfüllen bestimmter Kriterien des Ereignisses und sind somit triggerspezifisch. Spurtrigger liefern zum Beispiel Anzahl oder Richtung von Spuren, die durch bestimmte Spurkammern laufen. So bedeutet, z.B. Triggerelement DCRPh_Ta, daß mindestens eine Spur aus den CJC-Kammern auf den Vertexbereich rekonstruiert werden kann. Die Triggerelemente des RZ-Triggers werden in Abschnitt 3.3.3 erläutert.

Triggerelemente können im CTC zu 128 Subtriggern verknüpft werden. Zum Beispiel verlangt der Subtrigger 54 die Triggerelemente zVtx_Cls, DCRPh_TNeg und Topo_BR. zVtx_Cls spricht an, wenn in einem Vertexhistogramm höchstens 4 benachbarte Intervalle Einträge enthalten, DCRPh_TNeg verlangt eine Spur mit negativer Ladung und Topo_BR triggert auf zwei in der $R\Phi$-Ebene gegenüberliegende Spuren (siehe [Els94]). Daraus erhält man, daß Subtrigger 54 genau dann anspricht, wenn zwei koplanare Spuren, die auf den Vertexbereich zeigen, gefunden werden.

3.1.2 Die erste Triggerstufe

Die erste Triggerstufe besteht aus einer Zusammenfassung von Triggerelementen der L1-Trigger. Sie werden vom Zentral-Trigger zu bestimmten Subtriggern zusammengefaßt, so daß bestimmte Physikklassen erkannt werden. Um alle Triggerelemente für ein bestimmtes Ereignis vollständig zu erfassen, bildet der CTC seine Triggerentscheidung erst nach 22 HERA-Perioden. Da einige Trigger sehr lange brauchen, um ihre Triggerelemente zu aktualisieren, werden Triggerelemente, die ihre Entscheidung in kürzerer Zeit bilden können, im CTC entsprechend verzögert.

Die Trigger der ersten Stufe aktualisieren aufgrund ständig neu gelieferter Daten, die in *Pipelines* geschrieben werden, alle $96ns$ ihre Triggerelemente [Sef94]. So ist gewährleistet, daß die L1-Trigger totzeitfrei arbeiten. Beim RZ-Trigger werden die Signaldrahtpulse der Driftkammern CIZ und COZ alle 48ns in Schieberegistern aufgenommen. Die Schieberegister können die Pulse der letzten 10 HERA-Perioden der COZ und die letzten 13 HERA-Perioden der CIZ speichern, da dies den längsten Driftzeiten entspricht, die in den Kammern vorkommen können. Aufgrund dieser Daten werden alle $96ns$ die Triggerelemente des RZ-Triggers aktualisiert.

Da einige Trigger auf Daten beruhen, die erst viele HERA-Takte nach dem zugehörigen Ereignis voll aufgebaut sind (z.B. Kalorimeter, Driftkammern), muß die zeitliche Entwicklung aufgezeichnet werden. Beim RZ-Trigger sind hierfür 2kByte-RAM's vorgesehen. Mit ihnen können die Daten der letzten 2048 doppelten HERA-Takte gespeichert werden. Durch ein von der ersten Triggerstufe als physikalisch wertvoll erkanntes Ereignis wird die Dateneinlese und -verarbeitung angehalten und die Auslese der aktuellen Daten beginnt. Damit beginnt auch die Totzeit und die zweite Triggerstufe wird aktiviert.

3.1.3 Die zweite Triggerstufe

Die zweite Triggerstufe L2 besteht ebenso wie die erste aus festverdrahteten Logiken. Sie erhalten Informationen über die Triggerelemente aller Subtrigger über einen

Parallelbus und bilden mitttels eines parallelen Entscheidungsalgorithmus eine Triggerentscheidung [Rib93]. Die zweite Triggerstufe soll ab 1995 in Betrieb genommen werden.

3.1.4 Die dritte Triggerstufe

Die dritte Triggerstufe L3 basiert auf Mikroprozessoren. Sie nimmt ihre Arbeit gleichzeitig mit der zweiten Triggerstufe auf und prüft komplexere Bedingungen in einer Totzeit bis zu $800\mu s$ [Tur94]. Dazu werden die Ereignisdaten der Subtrigger ausgelesen und diese wieder freigeschaltet, so daß neue Ereignisse erfasst werden können. Wird ein Ereignis von der zweiten Triggerstufe verworfen, dann bricht die dritte Triggerstufe die Untersuchung ab. Wenn das Ereignis als physikalisch wertvoll erkannt wird, werden die Daten an die vierte Triggerstufe weitergegeben, im anderen Fall werden alle Daten gelöscht.

3.1.5 Die vierte Triggerstufe

Die vierte Triggerstufe L4 besteht aus einer Mikroprozessorfarm, in der jeder Mikroprozessor die Schnellrekonstruktion eines Ereignisses bearbeitet [Pro94]. Dabei werden zum Beispiel aus einzelnen Signalen von Driftkammern Spuren gebildet, oder die Zellenergien der Kalorimeter in Cluster zusammengefaßt. Es werden aber nur die Daten der Subtrigger, die dieses Ereignis getriggert haben, rekonstruiert. Somit liegen der Triggerentscheidung der vierten Triggerstufe neben den Triggerelementen die rekonstruierten Daten der H1-Auslese zu Grunde. Wird das Ergebnis verifiziert, d.h. es handelt sich um ein physikalisch interessantes Ereignis, so werden die Daten auf Magnetbändern gespeichert, andernfalls wird das Triggerresultat zurück gesetzt und die Daten verworfen.

3.1.6 Die Einteilung in Physikklassen

Nach der vierten Triggerstufe werden die abgespeicherten Daten, also die der als Physik erkannten Ereignisse, mit einem genaueren Rekonstruktionsprogramm [REC94] vorerst noch einmal rekonstruiert, um eine weitere Untergrundreduktion zu erhalten. Bei dieser Rekonstruktion findet eine Einteilung in Physikklassen statt.

3.2 Spurtrigger

3.2.1 Der Z-Vertex-Trigger

Der Z-Vertex-Trigger hat die Aufgabe, eine Vertexbestimmung in der RZ-Ebene im H1-Experiment vorzunehmen. Grundlage dafür sind Signale aus den Proportionalkammern

CIP und COP, die zu Spuren, die auf den Vertexbereich weisen, rekonstruiert werden. Die Vertexregion ist in 16 Intervalle, genannt Bins, mit jeweils der Länge 5.4cm eingeteilt. Jedes Bin enthält die Anzahl der Teilchenspuren, die auf diesen Vertexabschnitt rekonstruiert werden konnten. Man erhält daraus ein 16-Bin-Vertexhistogramm mit einer Auflösung von 5.4cm. Spuren, die von Teilchen stammen, die nicht aus dem Vertexbereich (*Non-Vertexbereich*) kommen, können nicht erkannt werden.

3.2.2 Der DC-RΦ-Trigger

Der DC-RΦ-Trigger erhält seine Daten aus Drähten der Jetkammern CJC1 und CJC2 und rekonstruiert daraus Teilchenflugbahnen in der RΦ-Ebene [Rie95]. Die Triggerelemente liefern Informationen über gefundene Spuren, z.B. deren Anzahl.

3.3 Der RZ-Trigger

Der RZ-Trigger arbeitet, wie die beiden anderen, als L1-Trigger. Er erhält seine Daten aus den Driftkammern CIZ und COZ und ist somit als Spurtrigger einzustufen. Er soll Teilchenflugbahnen isolierter Teilchen und den Ereignisvertex möglichst genau bestimmen. Dabei nimmt er eine Klassifikation in Spuren von Teilchen aus dem Vertexbereich und Spuren von Teilchen, die als Untergrund zu behandeln sind (Non-Vertex-Untergrund), vor.

Der RZ-Trigger verbessert prinzipiell die Vertexauflösung des Z-Vertextriggers um etwa den Faktor 10. Er ermöglicht einfache Untersuchungen eines Vertexhistogramms auf signifikante Spitzen und kann Untergrundereignisse erkennen, die aus der negativen z-Richtung des Detektors stammen. Die Triggerentscheidung des RZ-Triggers wird aus den Vertexverteilungen und dem Non-Vertex-Untergrund gebildet und kann so schon in der ersten Triggerstufe eine relativ komplexe Triggerentscheidung anbieten. Zusätzlich sollen Informationen über Zahl der Vertexspuren und Untergrund als Triggerelemente an den CTC zur Einbindung in Subtrigger weitergegeben werden.

Folgend werden das Funktionsprinzip und die Funktionseinheiten des RZ-Triggers erläutert. Auf die einzelnen Funktionseinheiten wird dabei genauer eingegangen.

3.3.1 Funktionsprinzip

Der RZ-Trigger erhält seine Daten von den Driftkammern CIZ und COZ (siehe Abbildung 3.2). Die Signaldrahtpulse jedes Drahtes werden in Schieberegister geleitet. So erhält man in den Schieberegistern ein quantisiertes zeitliches Abbild der Pulse der Zellen. Die Schieberegister werden auf Koinzidenzen der Pulse untersucht, so daß Rekonstruktionen von Spursegmenten[6] möglich sind. Damit können Spursegmente von

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

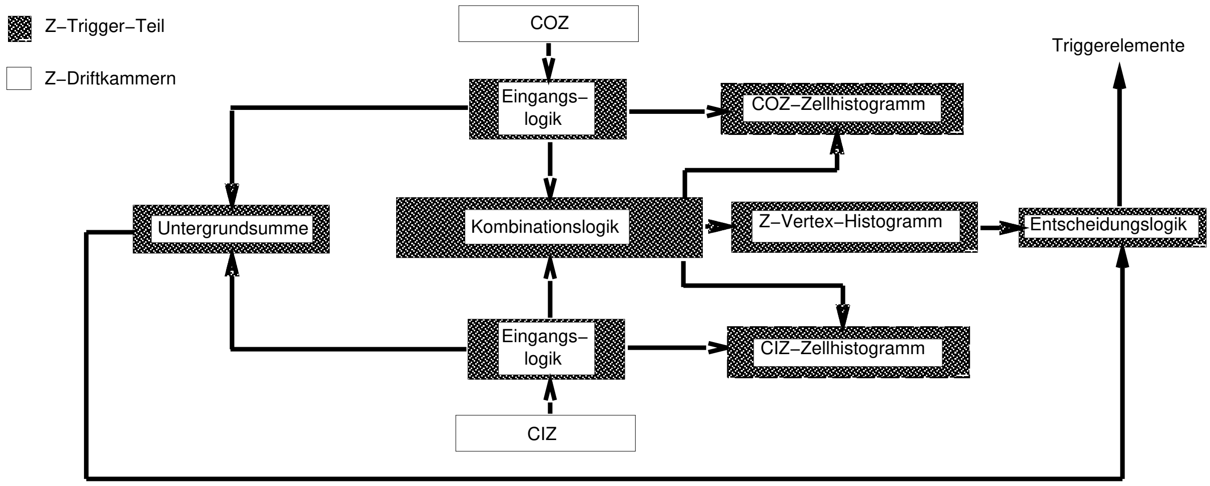

Abbildung 3.2: *Funktionseinheiten des RZ-Triggers*

Teilchenspuren, die aus einem Bereich von ±25cm um den nominellen Wechselwirkungspunkt ausgehen, und Spursegmente von Teilchenspuren, die von der negativen Non-Vertexregion stammen, erkannt werden. Letztere werden Untergrundspursegmente genannt. Die Untergrundspursegmente, die aus den, in positiver z-Richtung gesehen, vorderen Driftkammerzellen stammen, werden zu einer gewichteten Untergrundsumme aufsummiert. Dadurch erhält man ein Maß für den Untergrundanteil des Ereignisses.

Spursegmente, die von Teilchenspuren, welche vom Vertexbereich stammen, erzeugt werden, werden getrennt nach CIZ und COZ in sekundäre Schieberegister gefüllt. Dort werden Spursegmente, die auf das gleiche Vertexteilstück weisen zu Teilchenspuren rekonstruiert. Aus den gefundenen Teilchenspuren wird ein Vertexhistogramm gebildet. Das Vertexhistogramm wird auf herausragende Einträge untersucht und mit Hilfe der Untergrundsumme wird eine Triggerentscheidung gebildet.

3.3.2 Die Funktionseinheiten des RZ-Triggers

Der RZ-Trigger ist funktional und konstruktiv in folgende Funktionseinheiten eingeteilt (siehe Abbildung 3.2):

- Eingangslogik; realisiert auf den *Inputkarten* [Zim90]
- Kombinationslogik; realisiert auf den *Kombinationkarten* [Zim91a]
- Histogrammlogik; realisiert auf der *Histogrammkarte* [Zim91b] und der *Kontrollerkarte* [Zim92]
- Untergrundsummation; realisiert auf der *Kontrollerkarte*

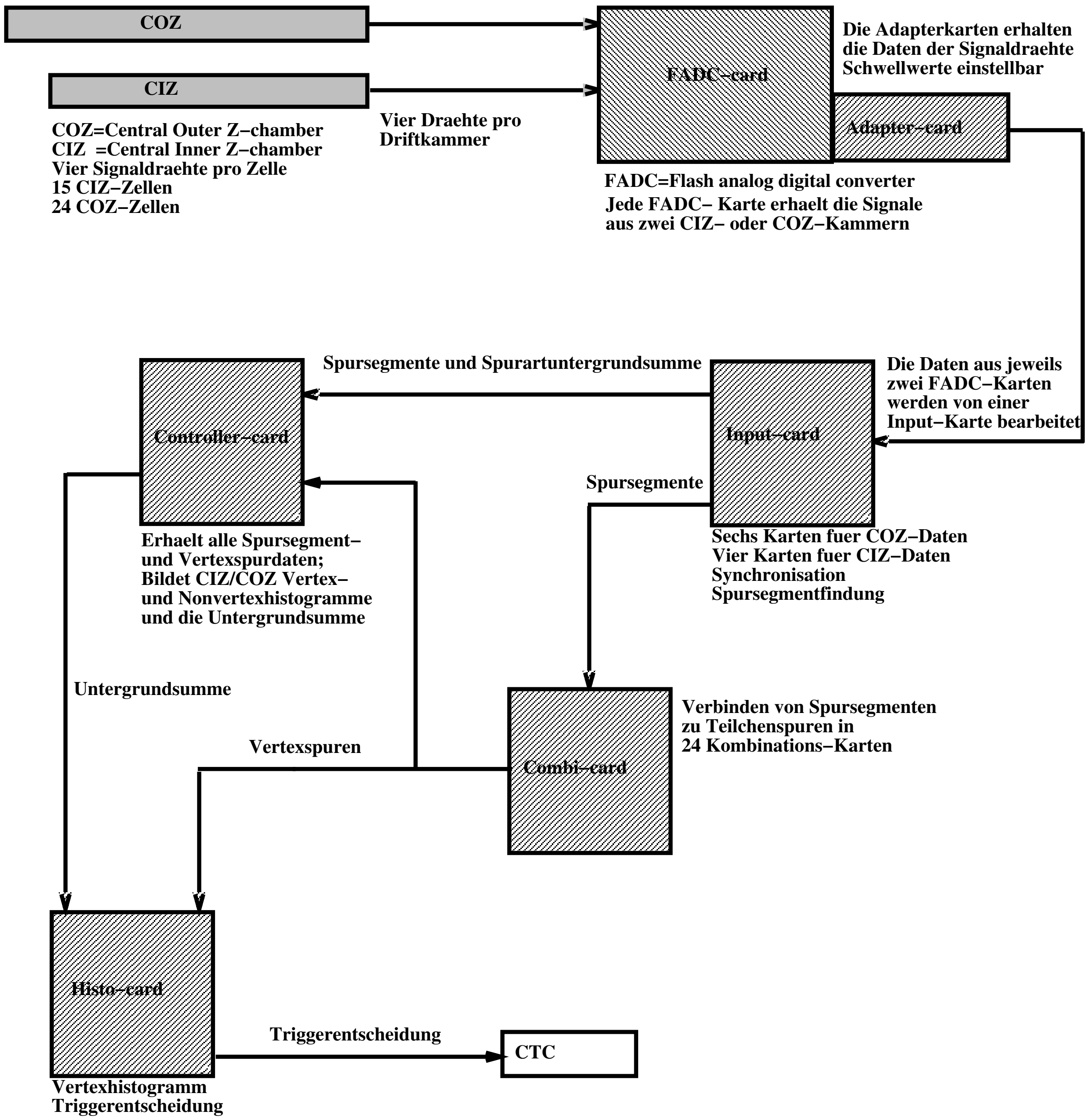

Abbildung 3.3: *Die Signalwege im RZ-Trigger*

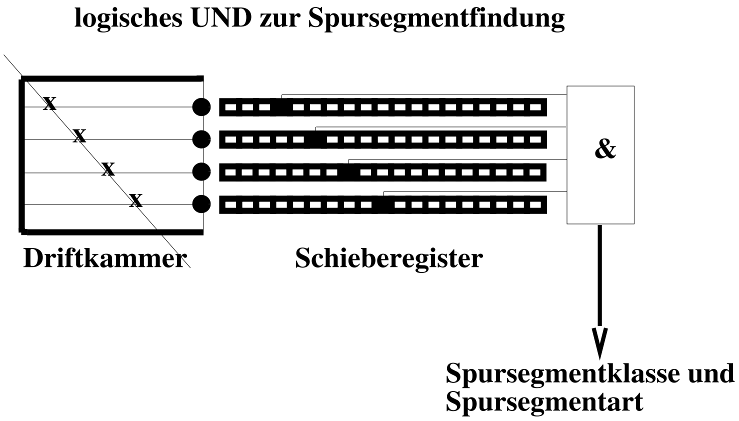

Abbildung 3.4: *Spursegmentfindung mit logischen UND-Gattern*

- Entscheidungslogik; realisiert auf der *Histogrammkarte*

Die Signalwege des RZ-Triggers sind in Abbildung 3.3 dargestellt.

FADC- und Adapter-Karten

Die Signale der Drähte der Driftkammern CIZ und COZ werden von den FADC[7]-Karten aufgenommen und für die H1-Auslese aufbereitet. Von dort werden die Pulse vorverstärkt von den Adapterkarten des RZ-Triggers abgegriffen. Auf den Adapterkarten befindet sich eine einstellbare Schwelle für jeweils zwei Driftzellen, die die Signale passieren müssen, um das Grundrauschen der Driftkammern und Vorverstärker zu eliminieren. Wenn das Signal größer als die Schwelle ist, wird ein Digitalpuls an die Inputkarten des RZ-Triggers weitergegeben und dort auf doppelte HERA-Frequenz synchronisiert.

Die Inputkarten

Der RZ-Trigger hat zehn Inputkarten, CIZ1 bis CIZ4 und COZ1 bis COZ6, von denen jede die Daten von vier Driftkammern erhält. Sie erhalten die digitalisierten Signaldrahtpulse der Adapterkarten und synchronisieren sie auf doppelte HERA-Frequenz. Bei einer Driftgeschwindigkeit von 48μm/ns in den COZ-Driftkammern erhält man so eine Ortsauflösung der Teilchenspur von 2.3mm.

Die Pulse jedes Drahtes werden mit doppelter HERA-Frequenz in jeweils ein *primäres* Schieberegister gefüllt. Dadurch erhält man aus vier Schieberegistern einer Zelle ein Abbild der Ionisationsorte in einer Driftzelle (siehe Abbildung 3.4). Außerdem werden die ankommenden Signaldrahtpulse in 2kByte-RAM-Speicherbausteinen für 2048 doppelte HERA-Takte gespeichert, um sie auslesen zu können.

[7]FADC=Flash Analog Digital Converter; sehr schnelle Analog-Digital-Wandler

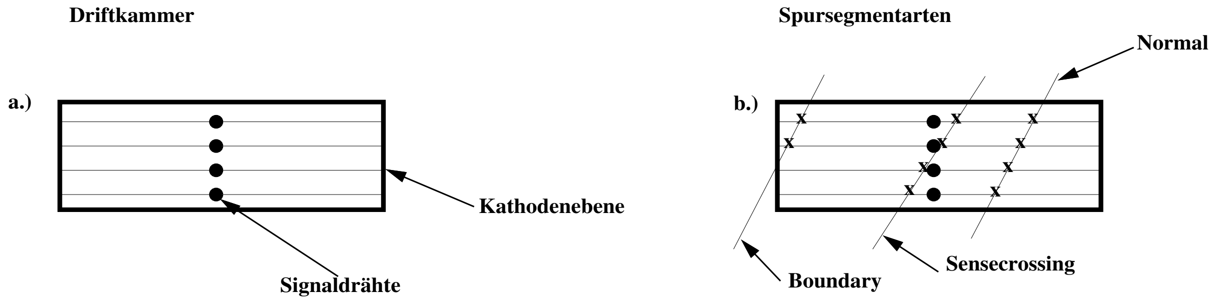

Abbildung 3.5: *a.) schematische Abbildung einer Driftzelle; b.) Definition zur Nomenklatur der Spursegmentarten*

Durch logische UND-Gatter, sogenannte Masken, werden die Schieberegister einer Zelle auf Pulskoinzidenzen untersucht. Es gibt pro Driftzelle mindestens 230 Masken, die auf programmierbaren LCA[8] -Bausteinen realisiert sind. Eine gefundene Koinzidenz von Signaldrahtpulsen liefert einen Spursegmentpuls, der folgende Informationen enthält:

- Die Spursegmentklasse, die beschreibt, ob die Teilchenspur, die dieses Spursegment erzeugt hat,
  - vom Vertex-Bereich des RZ-Triggers,genannt Vertexspursegment, oder
  - aus der negativen z-Richtung des Non-Vertex-Bereiches

  kommt.
- Im Falle eines Vertexspursegments wird die Nummer der korrespondierenden Zelle der jeweils anderen Driftkammer, die dem Spursegment aufgrund seiner Richtung zugeordnet werden kann, geliefert.
- Die Art des Spursegments (siehe Abbildung 3.5), d.h. die Unterteilung in:
  - Normale Spursegmente (*normal tracks*); Spursegmente, die von Spuren kommen, die weder die Kathodenebene einer Driftzelle noch die Signaldrahtebene schneiden;
  - Spursegmente, die von Teilchenspuren kommen, die die Signaldrahtebene schneiden (*sensecrossing tracks*);
  - Spursegmente, die von Teilchenspuren kommen, die die Kathodenebene schneiden (*boundary tracks*).

[8]LCA=Logic-Cell-Array; Elektronikbausteine, auf denen bis zu 740 logische Funtionen programmiert werden können

Existieren mehrere Spursegmente einer Drifthalbzelle, die jeweils auf die gleiche Drifthalbzelle der anderen Driftkammer weisen, werden diese in den LCA's verodert, da die Informationen redundant sind. So gibt es pro Spursegment nur einen Puls. Die entsprechenden Informationen über das Spursegment werden durch den entsprechenden LCA-Ausgang geliefert. Alle Untergrundspursegmente der vorderen (in z-Richtung gesehen) 6 CIZ- und 8 COZ-Driftzellen werden getrennt nach Spursegmentart analog zu einer Teiluntergrundsumme aufaddiert. Die Teiluntergrundsummen werden getrennt nach nachweisender Driftkammer über eine interne Verdrahtung, der Datenrückwand (*backplane*), auf die Kontrollerkarte geführt und dort weiterverarbeitet (siehe [Nit94]). Außerdem werden alle Untergrundspursegmente unabhängig von Spursegmentart getrennt nach Driftkammer und -zelle über die Datenrückwand summiert und auf die Kontrollerkarte geleitet, um Zellhistogramme zu bilden.

Die Informationen der Vertexspursegmente werden getrennt nach Drifthalbzelle und Spurart über die Datenrückwand den Kombinationskarten zugeführt.

Die Kombinationskarten

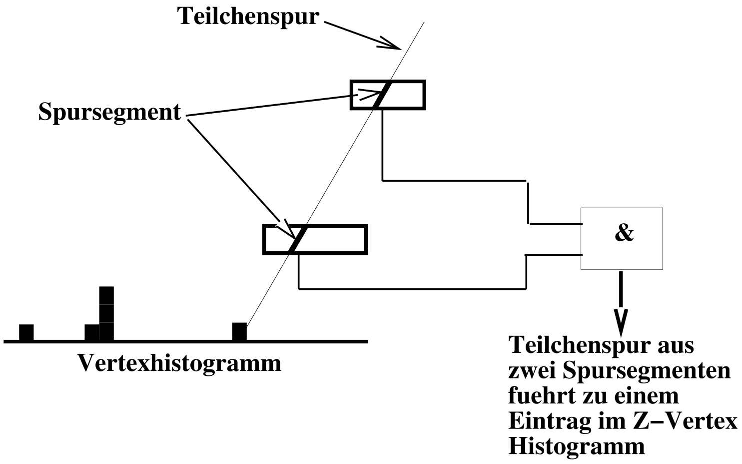

Abbildung 3.6: *Teilchenspurfindung aus Spursegmenten mit logischen UND-Gattern*

Es gibt für jede COZ-Driftzelle eine Kombinationskarte. Die Aufgabe der 24 Kombinationskarten besteht darin, die Spursegmente der COZ-Driftzellen mit korrespondierenden Spursegmenten der CIZ-Driftzellen in der Art zu kombinieren, daß eine Spur mit Ursprung aus dem Vertexbereich, ein sogenannter *Link*, entsteht (siehe Abbildung 3.6). Aufgrund der Geometrie der zentralen Driftkammern und der Vertexregion sind die Kombinationsmöglichkeiten auf eine COZ-Halbzelle mit sechs CIZ-Halbzellen beschränkt. Es genügt also, die Spursegmentinformationen einer COZ-Halbzelle und der entsprechenden sechs CIZ-Halbzellen einer, der COZ-Zelle zugeordneten, Kombinationskarte zuzuführen. Die Spursegmentinformationen werden zunächst auf HERA-Frequenz synchronisiert, da die hohe Auflösung durch doppelte HERA-Frequenz, die die Inputkarten liefern, zu viele LCA-Bausteine zur Realisierung der Koinzidenzbedingungen erfordert. Das erfordert ein Zusammenfassen der Informationen der doppelten

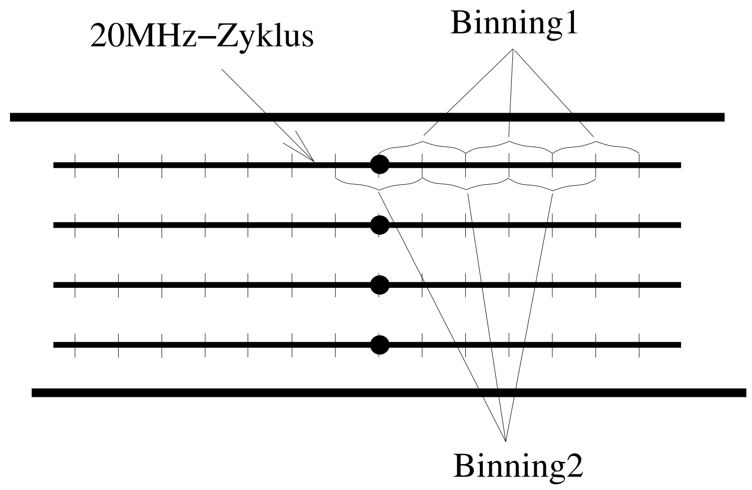

Abbildung 3.7: *Möglichkeiten der Zusammenfasuung der doppelten* HERA*-Frequenz-Zyklen der Inputkarten*

HERA-Zyklen der Inputkarten, genannt *Binning*. Es gibt zwei Möglichkeiten der Zusammenfassung (siehe Abbildung 3.7):

- Binning1; Es werden die Spursegmente des ersten und zweiten, des dritten und vierten, usw. HERA-Zyklusses, bezogen auf den Abstand vom Signaldraht, zusammengefaßt.
- Binning2; Es werden die Spursegmente des ersten doppelten HERA-Zyklusses und dann jeweils des zweiten und dritten, vierten und fünften, usw. zusammengefaßt.

Nach der Synchronisation auf HERA-Frequenz, werden die Spursegmentpulse getrennt nach Spurart und Halbzellen, auf die die entsprechenden Spursegmente weisen, in sekundäre Schieberegister gefüllt. So entsteht aufgrund der Masken in den Schieberegistern nach genau 13 HERA-Perioden ein genaues Abbild der Spursegmentverteilung in den Kammern (siehe Abbildung 3.6 und Abbildung 5.8). Wird eine solche Spurkombination gefunden, erhält man mit Hilfe der Ortskoordinaten des Spursegments aus der COZ-Zelle und einer *Look-up-Tabelle*, die in den Masken der LCA'a enthalten ist, den exakten Ort an dem die Teilchenspur den Vertexbereich, der aufgrund der Auflösung des RZ-Triggers in 96 Bins geteilt ist, schneidet. Die Look-up-Tabelle wurde vorher mit Hilfe eines Programms durch Spur-Rekonstruktion hergestellt. Der Ort wird in ein 96-Bin-Vertexhistogramm eingetragen. Ein Eintrag in das Histogramm wird *Prong* genannt, wenn zwei Einträge auf das gleiche Bin gehen, erhält man einen *Zwei-Prong*, usw.

Jede Kombinationskarte liefert ein Vertexhistogramm, das die Einträge enthält, die sich aus der Kombination einer COZ-Zelle mit den entsprechenden sechs CIZ-Zellen ergeben. Alle Vertexhistogramme werden auf der Datenrückwand binweise zu Analogsignalen addiert und liefern so das gesamte Z-Vertexhistogramm mit allen gefundenen Teilchenspuren, das der Histogrammkarte zugeführt wird.

Ausserdem werden von jeder gefundenen Spurkombination die beteiligten Zellnummern zur Bildung eines Zellhistogramms auf die Kontrollerkarte geleitet.

Die Kontrollerkarte

Auf der Kontrollerkarte werden die von den Inputkarten kommenden, nach Spurart und nachweisender Driftkammer getrennten Teiluntergrundsummen mit verschiedenen Gewichten zur *Non-Vertexuntergrundsumme* aufaddiert (siehe [Nit94]). Die ebenfalls von den Inputkarten kommenden Untergrundspursegmente werden getrennt nach Driftkammer und -zelle in "Non-Vertex-Zellhistogramme" eingetragen. Die "Vertex-Zellhistogramme" werden von den Zellinformationen der Kombinationskarten gefüllt. Befindet sich darin in den ersten 12 COZ-Zellen mindestens ein Eintrag, d.h. es wurde eine rückwärtige Vertexspur gefunden, wird ein Signal $COZBWOR$ an die Histogrammkarte geliefert, das dort als Triggerelement aufbereitet wird. Weiterhin steuert die Kontrollerkarte das gesamte RZ-Trigger-System bei der Auslese.

Die Histogrammkarte

Die Histogrammkarte erhält das komplette Z-Vertexhistogramm der Kombinationskarten und die Non-Vertexuntergrundsumme ($NVTXBG$), gemessen in Anzahl von Spursegmenten, und bildet daraus eine Triggerentscheidung und Triggerelemente (siehe Abbildung 3.8).

Dazu wird aus dem 96-Bin-Z-Vertexhistogramm ein neues 96-Bin-Histogramm, das Nachbarsummenhistogramm, gebildet, indem jeweils die Prongs eines Bins und seines rechten Nachbarn addiert werden (siehe Abbildung 3.9). Die Funktion liegt darin, daß z.B. ein Zwei-Prong und zwei nebeneinanderliegende Ein-Prongs, sogenannte Doppelprongs, die selbe Bedeutung erhalten. Man berücksichtigt also eine leichte Verschmierung der Vertexeinträge. Außerdem werden alle Prongs aus dem Z-Vertexhistogramm als Vertexuntergrund zur Vertexsumme ($VTXBG$) aufaddiert. Die Subtraktion der gewichteten Vertexsumme von jeder Nachbarsumme (NS_i) in der Untergrundsubtraktion liefert die Signifikanzen

$$S_i = NS_i - b \cdot VTXBG \tag{3.1}$$

der Prongs im Nachbarsummenhistogramm. Dadurch wird bezweckt, daß z.B. eine einzelne Spitze bei steigendem Vertexuntergrund weniger signifikant wird. Höhere Prongs, z.B. durch einen Jet erzeugter Sechs-Prong, lassen mehr Vertexuntergrundspuren zu, um noch signifikant zu bleiben.

Weiterhin wird im Peakdetektor der Eintrag mit den meisten Prongs des Nachbarhistogramms, der Peak (P), gesucht. Der Peak wird vom Prongdetektor klassifiziert als:

- 1 Prong, wenn der Peak $P \geq 1$,

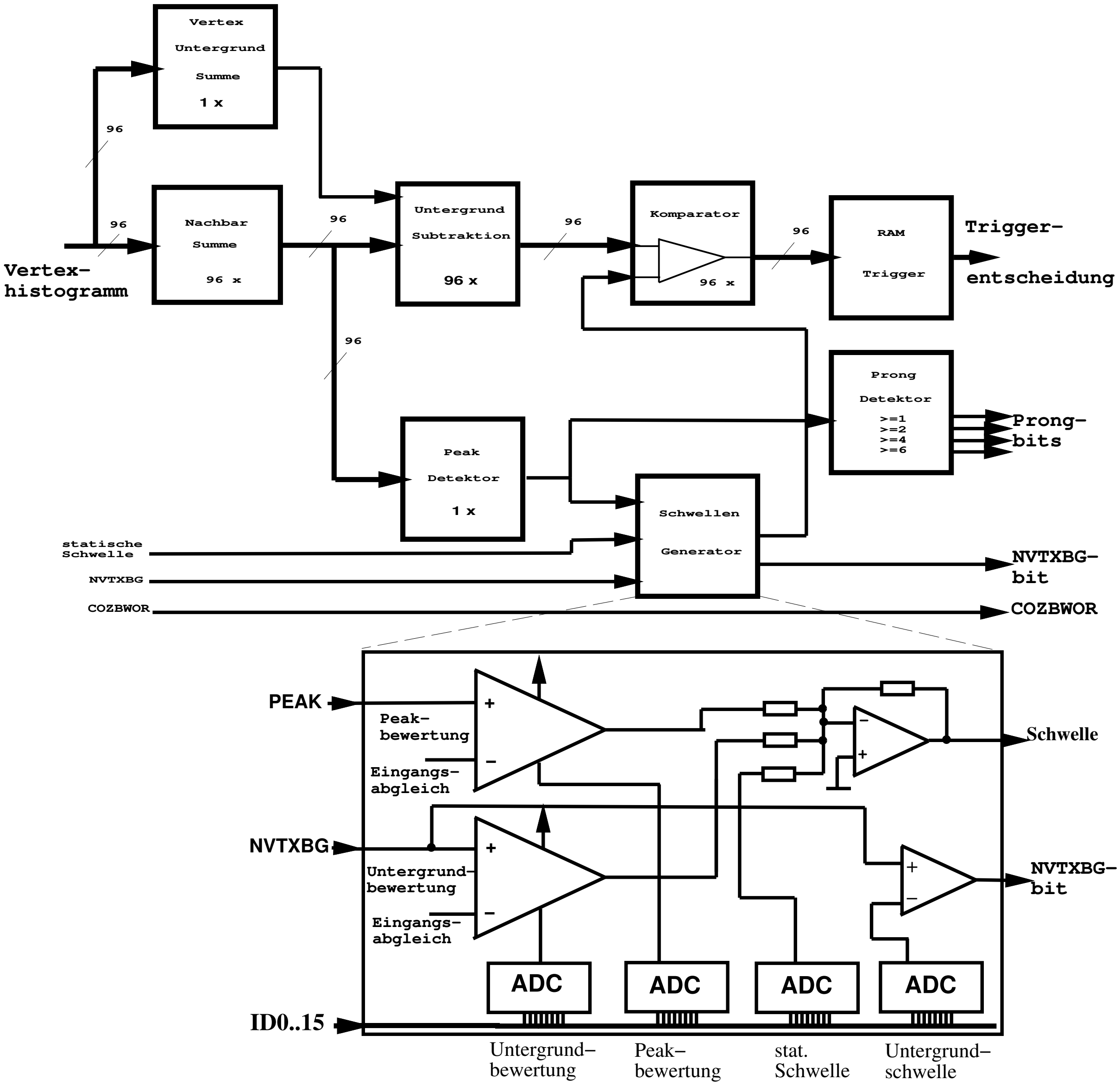

Abbildung 3.8: *Blockschaltbild der Histogrammkarte*

- 2 Prong, wenn der Peak $P \geq 2$,
- 4 Prong, wenn der Peak $P \geq 4$,
- 6 Prong, wenn der Peak $P \geq 6$.

Diese werden als Triggerelemente an den CTC gesandt.

Aus dem Peak (P), einer statischen Schwelle und der Untergrundsumme ($NVTXBG$) von der Kontrollerkarte wird eine Schwelle

$$T = a_1 + a_2 \cdot P + a_3 \cdot NVTXBG \tag{3.2}$$

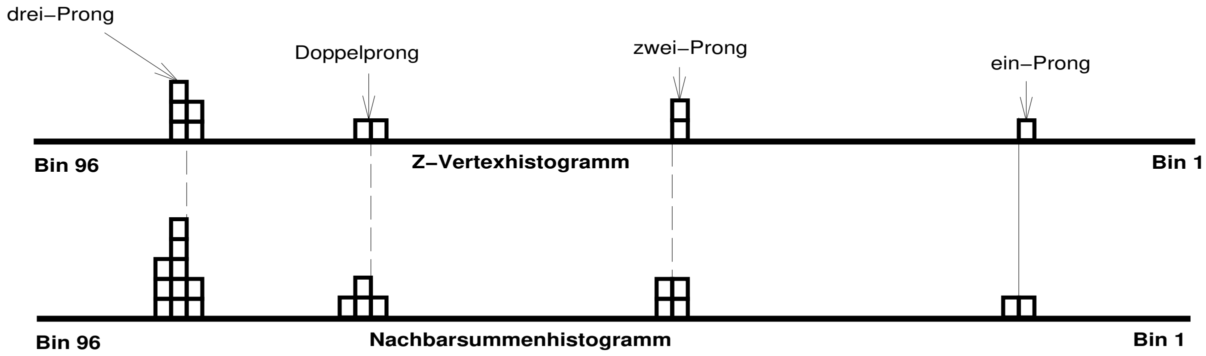

Abbildung 3.9: *Z-Vertexhistogramm und daraus resultierendes Nachbarsummenhistogramm*

generiert. Die Gewichte a_1 für die statische Schwelle, a_2 für die Peakbewertung und a_3 für die Untergrundbewertung sind mittels eines Programms einstellbar. Alle Signifikanzen S_i werden mit der Schwelle T verglichen. Dadurch wird erreicht, daß, bei geeigneter Wahl der Parameter, einerseits nur die höchsten Einträge weiterbearbeitet werden, und daß andererseits nur bis zu einer bestimmten Kombination aus Anzahl von Vertex- und Untergrundspuren die höchsten Einträge die Schwelle überschreiten. Das heißt in der Schwelle wird berücksichtigt, daß bei Ereignissen, die einen hohen Untergrund besitzen, also im allgemeinen keine Physikereignisse sind, keine Signifikanzen die Schwelle passieren können. Wenn die Schwelle überschritten wird, wird ein Digitalpuls ezeugt, der die Binposition, an der das signifikante Signal sitzt, markiert. Auf diese Art entsteht eine 96-bit-Dualzahl, mit der ein RAM[9] addressiert wird. Der Inhalt des RAM's ist so gestaltet, daß nur Adressen $A = (2^m - 1) \cdot 2^n, m = 1..6, n = 0..(97 - m)$, d.h. 96-Bit-Dualzahlen bei denen nur bis zu sechs benachbarte Bits aktiv sind, eine eins enthalten. Der RAM-Ausgang wird als Triggerentscheidung, daher der Name RAM-Trigger, an den CTC gesandt und liefert Information darüber, ob im Vertexhistogramm ein besonders hervortretendes, bestehend aus mehreren zusammenliegenden oder einem einzelnen, Signal vorliegt, das nicht aufgrund zu vieler Untergrundspuren entstanden ist.

Den Faktor der Vertexuntergrundsubtraktion b bestimmt man so, daß eine mittlere Pronghöhe, die sich aus $\frac{VTXBG}{96}$ ergibt, abgezogen werden soll. Da aber der bewertete $VTXBG$ von der Nachbarsumme abgezogen wird, muß die mittlere Pronghöhe verdoppelt werden und man wählt $b = 0.02 \approx \frac{2}{96}$. Die Parameter der Schwelle werden dann so gewählt, daß :

- der Non-Vertexuntergrund in gleichem Maße wie die Vertexsumme berücksichtigt wird;
- Signifikanzen von einzelnen Ein-Prongs die Schwelle nicht überschreiten können;
- nur die jeweils höchsten Signifikanzen die Schwelle überschreiten können;

[9]Random-Access-Memory = Speicherbaustein mit wahlfreiem Zugriff

- eine Signifikanz eines Peaks $P = 2$ ohne Non-Vertexuntergrund so lange die Schwelle überschreitet, bis die Vertexsumme 13 Einträge erreicht ($VTXBG > 12$), bzw. bei $P = 3 \rightarrow VTXBG > 27$, $P = 4 \rightarrow VTXBG > 42$, usw..

Der Faktor für den Non-Vertexuntergrund wurde empirisch bestimmt [HJB95]. Die beiden nächsten Punkte ergeben sich aus der Bedingung, das der RAM-Trigger zur Peakerkennung dient. Der letzte Punkt ergibt sich aus Monte-Carlo-Simulationen von Photon-Gluon-Fusionen $\gamma p \rightarrow c\bar{c} + g + X$. Dieser Physikkanal ist ohne Spurtrigger schwer zu erkennen, und man erhält ein breites Spektrum von Pronghöhen, so daß die Konstanten daraus gut zu bestimmen sind.

Die Simulation lieferte aufgrund der Physik des Ereignisses und der Konstruktion des RZ-Triggers eine Vertexsumme, die bis zu zwölf Einträge enthalten kann. Dabei wurde berücksichtigt, daß sich aufgrund der begrenzten Auflösung der Inputkarten mehrere Kombinationsmöglichkeiten ergeben und so die Vertexeinträge an unterschiedlichen Positionen erzeugt werden.

Um diese Bedingungen erfüllen zu können, ergeben sich die Parameter wie folgt:

$$a_1 = 0.35 \quad a_2 = 0.7 \quad a_3 = 0.02 \tag{3.3}$$

Unter Berücksichtigung eines Non-Vertexuntergrundes $NVTXBG \leq 6$ Spursemente wird ein RAM-Trigger-Ausgang geliefert, solange die Vertexsumme $VTXBG \leq 6$ Spuren ist und ein Peak $P = 2$ vorliegt.

Um sich zusätzlich ein Bild vom Non-Vertexuntergrund machen zu können, wird die Untergrundsumme mit einer verstellbaren Schwelle verglichen. Ein Überschreiten der Schwelle wird als Triggerelement an den CTC gesandt.

3.3.3 Triggerelemente des RZ-Triggers

Zusammengefaßt liefert der RZ-Trigger acht Triggerelemente an den CTC, die in verschiedene Subtrigger eingebunden werden können:

- ein Bit für die Triggerentscheidung,
- ein Bit, falls der höchste Eintrag im Nachbarsummenhistogramm $P \geq 1$ ist,
- ein Bit, falls der höchste Eintrag im Nachbarsummenhistogramm $P \geq 2$ ist,
- ein Bit, falls der höchste Eintrag im Nachbarsummenhistogramm $P \geq 4$ ist,
- ein Bit, falls der höchste Eintrag im Nachbarsummenhistogramm $P \geq 6$ ist,
- ein Bit, falls die Untergrundsumme eine einstellbare Schwelle überschreitet,

- ein Bit, falls ein Rückwärtsspur gefunden wurde, was für die Erkennung von $b\bar{b}/c\bar{c}$ wichtig ist.

Die Triggerelemente des RZ-Triggers müssen in Verbindung mit einem Triggerelement, das den Zeitpunkt der letzten Kollision t_0 liefert und vielleicht dem Untergrundbit kombiniert werden, da die Triggerelemente des RZ-Triggers aufgrund des unscharfen *Timings* der Driftkammern relativ lange anstehen können.

Kapitel 4

Labortests am RZ-Trigger

Im Frühjahr 1994 wurden am RZ-Trigger Tests im Labor durchgeführt. Ziel der Tests war eine Prüfung der Funktion des RAM-Trigger-Ausganges (siehe Abbildung 3.8).

Abschnitt 4.1 beschreibt nochmals kurz das Prinzip, nach dem die RAM-Trigger-Entscheidung aus dem Z-Vertexhistogramm gebildet wird. In Abschnitt 4.2 ist beschrieben, wie das Z-Vertexhistogramm für diese Tests generiert wird. Die erhaltenen Ergebnisse werden in Abschnitt 4.3 dargestellt.

4.1 Testbedingungen

4.1.1 Elektronikvorraussetzung für den Test

Der RZ-Trigger besitzt neben der internen Verdrahtung auf der Datenrückwand einen VMEBus[1], über den Daten, z.B. die Schwellenparameter auf der Histogrammkarte, geschrieben und ausgelesen werden können. Der Zugriff auf den Bus geschieht über MACVEE- und MICRON[2]-Karten mit einem Macintosh-IIvx-Computer, auf dem ein Steuerungsprogramm [Fra94] arbeitet. So kann mit Hilfe des Programms der RZ-Trigger initialisiert und die LCA's auf den Input- und Kombinationskarten, die die Masken zur Spur- und Spursegmentfindung enthalten, konfiguriert werden. Weiterhin können mit dem Steuerprogramm Testpulsgeneratoren auf den jeweiligen Karten gesteuert werden und somit in die entsprechenden Schieberegister Testpulse geschrieben werden. Bei den Testpulsen handelt es sich um ideale Rechteckpulse. Das Schreiben und Lesen kann zyklusweise oder in einem Schub mehrerer Zyklen erfolgen.

[1] bekanntes 16/32bit Bussystem (ermöglicht dem Benutzer größtmöglichen Spielraum)
[2] VMEBus-Adapterkarten

Testkonfiguration

Zu den Tests werden nur die Kombinationskarten, die Kontrollerkarte und die Histogrammkarte benötigt. In die LCA's der Kombinationskarten wird die Testkonfiguration [Kla94] geladen, die keine Masken enthält, sondern die die Eingänge über Zwei-Zyklen-Schieberegister so auf die Ausgänge schaltet , daß im Z-Vertexhistogramm zwei Bins getrennt durch zwölf "Leerstellen" erscheinen. Die Binpositionen, in die die Einträge gemacht werden, hängen vom LCA und dem LCA-Eingang ab. Das heißt mit einem in einen LCA-Eingang geschriebenen Testpuls werden im Z-Vertexhistogramm zwei Prongs erzeugt.

4.1.2 Ziel der Tests

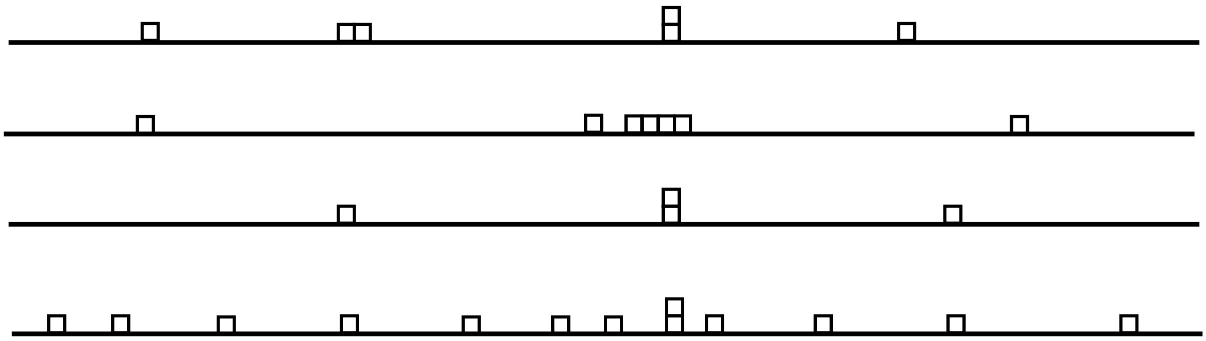

Abbildung 4.1: *Erwartete RAM-Trigger-Ausgänge*

Grundlage der Tests sind die Bedingungen für die generierte Schwelle 3.2 und die Signifikanzen 3.1 auf der Histogrammkarte. Mit der statischen Schwelle $a_1 = 0.35$, der Peakbewertung $a_2 = 0.7$, ohne Non-Vertexuntergrundbewertung $a_3 = 0$ und der Bewertung $b = 0.02$ für die Vertexsumme soll man die letzten drei in 3.3.2 beschriebenen Bedingungen erfüllen (siehe Abbildung 4.1).

Diese Bedingungen sollen unabhängig von den Positionen der Einträge gelten und getestet werden.

4.2 Vorgehensweise beim Test

Der RAM-Trigger-Ausgang wird wie folgt getestet:

- In die speziell konfigurierten LCA's werden Testpulse geschrieben, so daß an einem Bin im Z-Vertexhistogramm ein Doppelprong entsteht, d.h. im Nachbarhistogramm wird ein Zwei-Prong-Peak gebildet.

- Nachfolgend wird der Vertexuntergrund mit Ein-Prongs aufgefüllt, bis der RAM-Trigger-Ausgang verschwindet.

Dabei wurde darauf geachtet, daß die beteiligten Prongs von unterschiedlichen Kombinationskarten generiert wurden, um keine Abhängigkeiten von Kombinationskarten in die Messung einfließen zu lassen. Dieser Vorgang wird für einen Doppelprong an jeder Binposition des Z-Vertexhistogramms wiederholt und die Vertexsumme, bei dem der RAM-Trigger-Ausgang verschwindet, festgehalten.

Anschließend wird geprüft, ob der RAM-Trigger-Ausgang verschwindet, wenn im Z-Vertexhistogramm mindestens zwei gleichhohe Peaks vorhanden sind. Dadurch wird erst überprüft, ob eine richtige Peakerkennung möglich ist.

4.2.1 Einschränkung bei der Durchführung

Aufgrund der Testkonfigurationen, die ursprünglich nicht für diesen Test erstellt wurden, kann man einen einzelnen Peak mit zwei Prongs erst ab Binposition 13 generieren, da immer nur zwei einzelne Prongs im Abstand von zwölf Bins generiert werden. Ein einzelner Zwei-Prong-Peak beinhaltet dann eine Vertexsumme von mindestens vier Prongs (zwei am Peak beteiligte Prongs, sowie zwei einzelne Prongs jeweils im Abstand von ± 12 Bins).

4.3 Testbewertung

4.3.1 Ergebnisse der Messungen

In den Abbildungen 4.2, 4.3 und 4.4 sind die Vertexsumme, bei dem der RAM-Trigger-Ausgang verschwindet, in Abhängigkeit von der Position des Doppelprongs aufgetragen. Es zeigen sich hier systematische Fehler, die auf zu große Toleranzen der Bauelemente hinweisen.

Abbildung 4.2 faßt die erste Messung zusammen. Man sieht eine große von der Vertexposition des Doppelprongs abhängige Streuung um den Mittelwert $VTXBG = 14$. Es sind Werte $6 \leq VTXBG \leq 20$ zu finden. Weiterhin liegt der Mittelwert nicht, wie erwartet bei $VTXBG = 12$.

Weitere Messungen ergaben kein eindeutiges Ausbleiben des RAM-Trigger-Ausgangs bei mehreren nichtbenachbarten gleichhohen Peaks. In der Hälfte aller getesteten Fälle werden solche, als Untergrund einzustufende, Histogramme als Physikereignis erkannt.

Veränderungen der Parameter für die Schwellen- und Signifikanzbedingung führten zu einer wesentlichen Verbesserung der Streuung. Die Messung der kleinsten Streuung

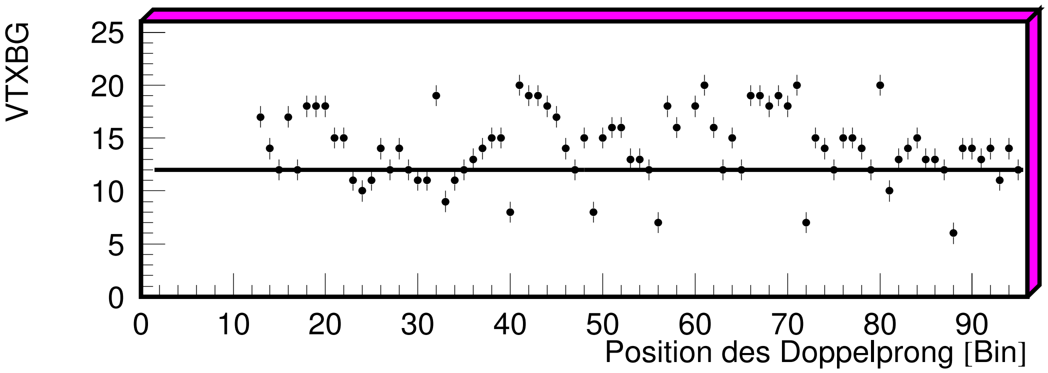

Abbildung 4.2: *Verschwinden des RAM-Trigger-Ausgang in Abhängigkeit vom* $VTXBG$*, wenn* $T = 0.35 + 0.7 \cdot P$*,* $S_i = NS_i - 0.02 \cdot VTXBG$ *im Labor*

mit den Bedingungen $T = 0.36 + 0.32 \cdot P$ und $S_i = NS_i - 0.08 \cdot VTXBG$ gegenüber ursprünglich $T = 0.35 + 0.7 \cdot P$, $S_i = NS_i - 0.02 \cdot VTXBG$ ist in Abbildung 4.3 dargestellt. Man erkennt eine aktzeptable Streuung zwischen $9 \leq VTXBG \leq 14$. Die Ursache für dieses Verhalten ist in 4.3.2 beschrieben. Allerdings ist bei diesen Bedingungen die Schwelle, die ein Drei-Prong generiert, so niedrig, daß neben den Drei-Prong-Signifikanzen, die die Schwelle überschreiten sollen, auch Zwei- und Ein-Prong-Signifikanzen die Schwelle überschreiten. Damit ist aber keine Peakerkennung mehr möglich und der RAM-Trigger wäre sinnlos. Daher wurden wieder die ursprünglichen Bedingungen gewählt.

Nach dem Einbau am Experiment wurde dann eine abschließende Messung gemacht, die in Abbildung 4.4 dargestellt ist. Man erkennt eine Reduktion der Streuung zwischen der ersten Messung im Labor auf $8 \leq VTXBG \leq 16$, die aber die gleiche Abhängigkeit

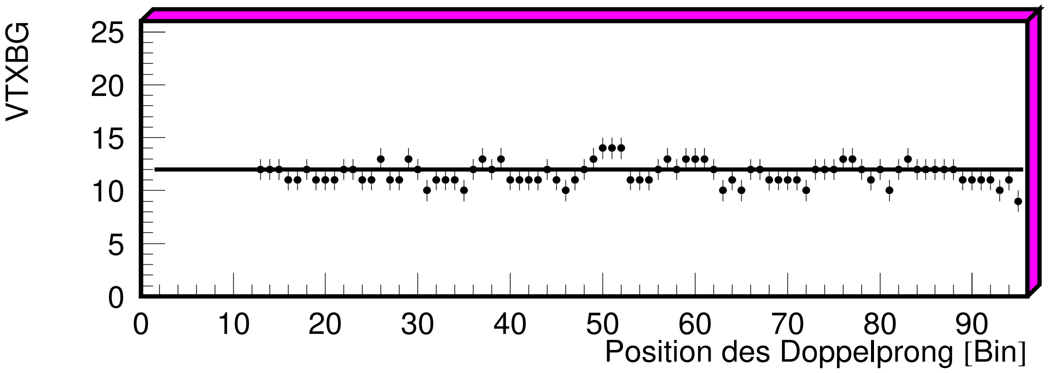

Abbildung 4.3: *Verschwinden des RAM-Trigger-Ausgang in Abhängigkeit vom* $VTXBG$*, wenn* $T = 0.36 + 0.32 \cdot P$*,* $S_i = NS_i - 0.08 \cdot VTXBG$ *im Labor*

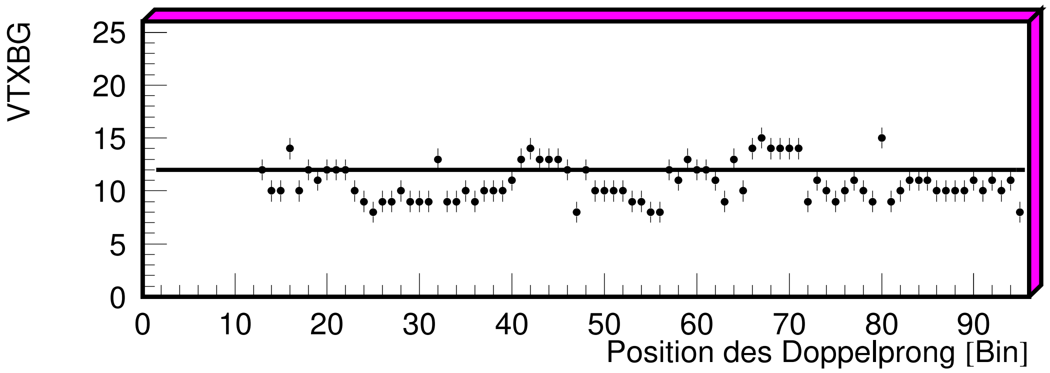

Abbildung 4.4: *Verschwinden des RAM-Trigger-Ausgang in Abhängigkeit vom* $VTXBG$*, wenn* $T = 0.35 + 0.7 \cdot P$*,* $S_i = NS_i - 0.02 \cdot VTXBG$ *am Experiment*

des Doppelprongs von der Position wie die der ersten Messung zeigt.

4.3.2 Beurteilung des RAM-Triggers

Für das gemessene RAM-Trigger-Verhalten gibt es mehrere Ursachen:

- Hohe Toleranzwerte von 5% der Widerstände auf der Histogrammkarte, die z.B. zur Beschaltung der Summierverstärker der Nachbarsummen nötig sind. Diese wurden, wegen ungenauer Spezifikation, beim Bau der Karte anstatt von Widerständen mit 1% Toleranz gewählt.
- Großes Rauschen bei der Vertexsummation; ein Prong kann hier nicht aufgelöst werden, weil er einen kleineren Beitrag liefert als das Rauschen. Daher verkleinerte sich die Streuung bei der Messung mit dem Faktor $b = 0.08$ für die Vertexsumme.
- Der Peakdetektor, der aus gruppierten Dioden (*Diodenarrays*), besteht. Ein Diodenarray besteht aus acht Dioden, wobei die Toleranzen der Durchbruchströme der einzelnen Dioden innerhalb einer Gruppe nicht gleich sind. Um alle 96 Bins der Nachbarsummen zu erfassen, sind daher 12 solcher Diodenarrays nötig, an deren Nahtstellen der Peak kleiner klassifiziert wird, als ein gleichhoher Peak innerhalb eines Diodenarrays. Das bedeutet, daß der höher klassifizierte Peak in die Schwellenbedingung eingeht und eine höhere Schwelle generiert. Die Signifikanz, die sich aus der Nachbarsumme des kleineren Peaks ergibt reicht dann nicht mehr aus um die Schwelle zu überschreiten, so daß eine RAM-Trigger-Adresse entsteht in der nur ein Bit anspricht ist, was einen falschen RAM-Trigger-Ausgang liefert.

  Diesen Effekt kann man in Abbildung 4.5 sehen. Die Nachbarsumme von Bin 48 und 49 liefert einen wesentlich kleineren Peak als die Nachbarsumme zwischen Bin 49 und 50 oder wenn ein Zwei-Prong auf Bin 48, bzw. 49 liegt.

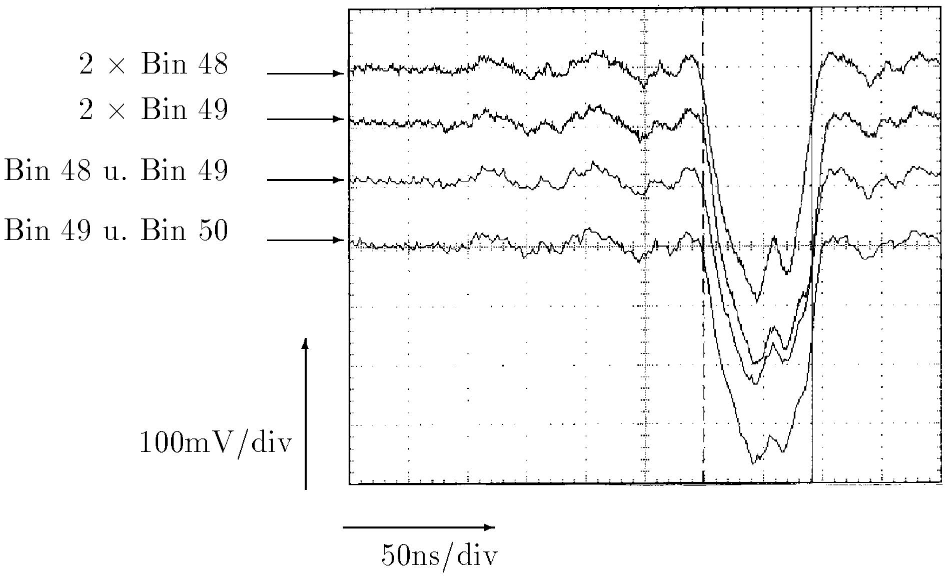

Abbildung 4.5: *Messung des Peakdetektorausgangs*

- Die Ursache für die kleinere Streuung der Vertexsumme nach dem Einbau am Experiment liegt in einer Temperaturabhängigkeit des Systems. Denn am Experiment arbeitet das System in einer ca. 10°C kälteren Umgebung.

Eine allgemeine Verbesserung der Effekte wäre nur durch einen Neubau der Histogrammkarte möglich, d.h. Widerstände mit kleineren Toleranzen müssen eingebaut werden und die Diodenarrays müßten durch Transistoren ersetzt werden. Die Transistoren hätten keine Toleranzen, wie die Dioden, da eine Transistoreingangsschwankung durch Rückkopplung begrenzt werden kann.

Das Verhalten des Peakdetektors läßt für den Betrieb am Experiment erwarten, daß zu viele Untergrundereignisse als Physikereignisse erkannt werden. Da der RAM-Trigger oft von zwei gleich hohen, aber getrennten Peaks, wegen der Abhängigkeit des Peaksignals von der Vertexposition, nur einen erkennt, werden eher zu viele Untergrundereignisse als Physik erkannt, was für die Effizienz der Physiktrigger nicht schädlich ist. Allerdings sieht man in Abbildung 4.4, daß es viele Histogrammbereiche gibt, bei denen die Vertexsumme, für die der RAM-Trigger-Ausgang verschwindet, wesentlich kleiner als angestrebt ist. In diesen Fällen würde man Physikereignisse verlieren.

Kapitel 5

Betrieb des RZ-Triggers

Nach den Labortests wurde der RZ-Trigger im Juni 1994 am Experiment eingebaut. Nachdem die vom Zentral-Trigger (*CTC*) gesteuerte Auslese installiert war, konnten Einstellungen der Schwellen auf den Adapterkarten und eine Optimierung des Z-Vertexhistogramms vorgenommen werden.

Auf die Integration des RZ-Triggers in das Experiment und den prinzipiellen Ablauf der Auslese wird in Abschnitt 5.1 eingegangen. Abschnitt 5.2 beschreibt die Einstellung der Schwellen zur Rauschunterdrückung auf den Adapterkarten, die die Kammersignale passieren müssen. In Abschnitt 5.3 wird beschrieben, wieso eine Optimierung des Z-Vertexhistogramms nötig ist, wovon sie abhängt und wie man das beste Ergebnis erhält.

5.1 Aufbau im Experiment

Der Aufbau des RZ-Triggers im Experiment gliedert sich in zwei Teile:

- Betrieb des RZ-Triggers durch Steuersignale vom Zentral-Trigger.
- Auslese der gespeicherten Daten aus dem RZ-Trigger.

5.1.1 Steuerung des RZ-Triggers mit dem Zentral-Trigger

Das RZ-Triggersystem setzt sich zusammen aus (siehe Abbildung 5.1):

- RZ-Trigger, der seine Daten von den zentralen Driftkammern erhält und daraus eine Triggerentscheidung fällt.

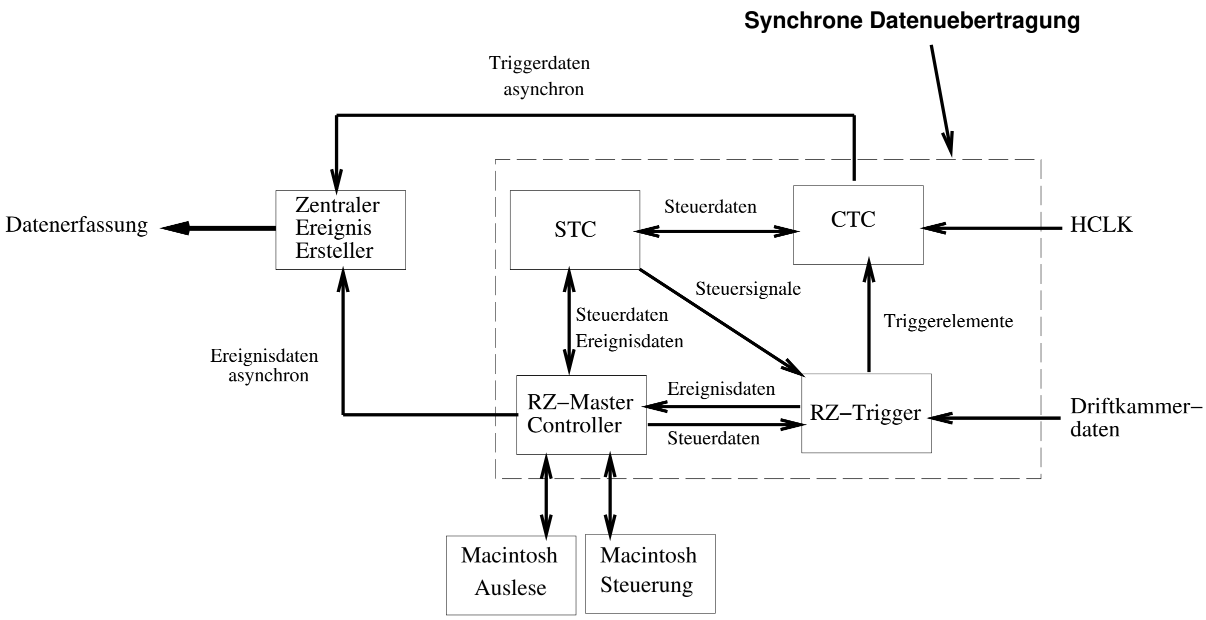

Abbildung 5.1: *Integration des RZ-Triggers in das* H1*-Trigger- und Datenerfassungssystem*

- Subsystem-Trigger-Kontroller[1], zur Steuerung des RZ-Triggers über den CTC.
- *RZ-Master-Controller*; ermöglicht die Steuerung des RZ-Triggers über zwei parallel angeschlossene Macintosh-Computer und ist für die Steuerung der Auslese nötig.
- zwei Macintosh-Computer. Einer, auf dem das Steuerprogramm arbeitet, dient der Initialisierung und Konfiguration des RZ-Triggers. Mit diesem Computer können auch nach dem Einbau im Experiment Tests am RZ-Trigger gemacht werden. Auf dem anderen Computer arbeitet ein Programm, das die Auslesesteuerung des RZ-Triggers übernimmt und Überwachungsfunktionen besitzt.

Die Steuerung des RZ-Triggers unter Betriebsbedingungen erfolgt vom CTC. Wenn ein L1-Subtrigger ein Ereignis als Physik erkannt hat, sendet der CTC ein *L1keep*-Signal an die STC's jedes Subsystems. Diese veranlassen, daß die Schieberegister gestoppt werden und deaktivieren lokal das wichtigste Signal *Pipeline Enable (PiEn)*, das die weitere Datenaufnahme der Schieberegister verhindert. Wenn das *L2keep*-Signal kommt und die L1-Entscheidung bestätigt, wird dieses an die Master-Controller weitergeleitet, die dann die Datenauslese aus den Speichern der Triggerelemente starten. Zusätzlich beinhaltet das L2keep-Signal die Ereignisnummer, um später Kreuzverweise in der Datenauslese zu haben.

Wird ein Ereignis von L1 als Untergrund erkannt, bleiben die Steuersignale aus und die Schieberegister aktiv.

[1]STC = Subsystem-Trigger-Controller

Die gesamte Steuerung läuft synchron mit der vom CTC weitergeleiteten HERA-*Clock* (HCLK), die über den Subsytem-Controller und den RZ-Master-Controller an den Trigger weitergegeben wird.

Ist die Auslese abgeschlossen, d.h. sie wurde nicht durch ein *L3Reject*-Signal verworfen, meldet dies der RZ-Master-Contoller dem CTC mit dem *FrontEndReady*-Signal. Der CTC reagiert darauf mit dem Aktivieren des PiEn-Signals und die Trigger sind für das nächste Ereignis bereit.

5.1.2 Auslese der Daten aus den Speichern des RZ-Triggers

Die Auslese der Ereignisdaten aus dem Trigger wird mit dem Master-Controller gesteuert (siehe Abbildung 5.1). Dazu muß zunächst das Ausleseprogramm vom Macintosh in den *Fast Intelligent Controller (FIC)* [FIC87] des Master-Controllers geladen werden. Mit dem L2keep-Signal wird der Ausleseprozeß gestartet. Er liest die Daten aus den Speichern des RZ-Triggers und speichert sie in einen Puffer auf dem FIC, der inklusive Programm und Parametern bis zu 1MByte Daten umfassen kann. Zusätzlich werden vom STC die L1keep- und L2keep-Nummer, die der Ereignisnummer entspricht, gelesen. Weiterhin werden Daten, die es ermöglichen, die Ereignisdaten dem richtigen Ereignis zuzuordnen, gelesen und in dem Puffer gespeichert. Jetzt kann der RZ-Trigger wie oben beschrieben wieder aktiviert werden und die folgende Datenspeicherung läuft asynchron ab. Damit ist gewährleistet, daß die Totzeit möglichst gering gehalten wird.

Die Daten im FIC-Puffer werden formatiert und nullunterdrückt. Nachdem der Zentrale-Ereignis-Ersteller die Daten des vorherigen Ereignisses abgearbeitet hat, holt er sich die Ereignisdaten der einzelnen Trigger und Detektorteile einer bestimmten Gruppe und speichert diese dann in *Multi-Event-Buffer (MEB)*. Die Zusammenfassung aller Ereignisdaten und der Triggerentscheidungsdaten erfolgt dann in *Full-Event-Buffer (FEB)*. Wenn während dieses Vorganges ein L3Reject-Signal empfangen wird, wird der Auslesevorgang abgebrochen und alle Puffer werden wieder freigemacht.

Die Daten aus den FEB werden L4 zugeführt und bei Bestätigung als Physikereignis, an die Zentrale-H1-Großrechenanlage *dice2* weitergeleitet und auf Magnetband gespeichert.

Die Abspeicherung der Ereignisdaten erfolgt in *BOS*-Datenbänken[2] [Blo87]. So werden z.B. die Ereignisdaten der Driftkammer COZ in der BOS-Bank *CRZE*, der Driftkammmer CIZ in der *CRYE*-BOS-Bank und des RZ-Triggers in der BOS-Bank *TZTN* gespeichert. Von dort können die Daten abgerufen und untersucht werden.

[2]BOS= Bank-Operating-System

5.2 Einstellung der Schwellen auf den Adapterkarten

Messungen an den analogen FADC-Ausgängen (siehe Abbildung 3.3), von denen der RZ-Trigger seine Daten abgreift, mit einem Digitaloszilloskop zeigten, daß die Signaldrahtpulse mit einem Verstärkerrauschen unterlegt sind (siehe Abbildung 5.2 oben). Weiterhin werden zeitweise Störungen, sogenannte Folgepulse, (siehe Abbildung 5.2 unten), die für den Betrieb des RZ-Triggers unerwünscht sind, registriert. An den RZ-Trigger wird die Summe der Pulse beider Drahtenden gegeben, um statistisches Rauschen herauszufiltern. Weiterhin wird dadurch bewirkt, daß man ein möglichst vom Azimutwinkel unabhängiges Signal erhält. Damit Teile des Verstärkerrauschens nicht als Signaldrahtpulse erkannt werden, ist es nötig, die Signale über einen Diskriminator mit einstellbarer Schwelle, der das Rauschen unterdrückt, zu filtern. Es soll aber bei bestmöglicher Rauschunterdrückung eine möglichst gute Effizienz für minimal ionisierende Teilchen erhalten bleiben. Zur Rauschunterdrückung sind auf den Adapterkarten des RZ-Triggers einstellbare Schwellen für jeweils zwei Zellen vorgesehen. Die Schwellen können über Digital-Analog-Wandler mit dem RZ-Trigger-Steuerprogramm [Fra94] digital eingestellt werden.

In Abschnitt 5.2.1 wird die Möglichkeit des Vergleichs der RZ-Triggerdaten mit den Driftkammerdaten beschrieben. Abschnitt 5.2.2 zeigt die Messung, die in Abschnitt 5.2.3 ausgewertet wird.

5.2.1 Angleichung der RZ-Triggerdaten mit Driftkammerdaten

Um die Schwellen auf den Adapterkarten korrekt einstellen zu können, ist ein Vergleich der Driftkammerpulse, die die Diskriminatoren der Adapterkarten passiert haben, mit denen, die direkt von den FADC's ausgelesen wurden, nötig. Denn diese Daten werden bei der Ereignisrekonstruktion benötigt. So kann durch den Vergleich der Daten eine gleich gute Effizienz für minimal ionisierende Teilchen erreicht werden. Die Daten, die direkt von den FADC's aufgezeichnet wurden, sind in den CRZE- und CRYE-BOS-Bänken gespeichert und werden im folgenden *H1-Daten* genannt. Sie können mit einem RZ-Trigger-Simulationsprogramm [HJB94a] gelesen und rekonstruiert werden. Die Pulse, die auf den Adapterkarten für die Weiterverarbeitung mit dem RZ-Trigger aufbereitet werden, werden zu den Synchronisationsstufen der Inputkarten geleitet und in den Inputkarten-RAM's gespeichert. Deren Inhalt wird ausgelesen und in TZTN-BOS-Bänken abgespeichert. Mit dem gleichen RZ-Trigger-Simulationsprogramm, das aber in der Auslese leicht abgewandelt ist [HJB94b], können die Daten aus den TZTN-BOS-Bänken, die folgend *Trigger-Daten* genannt werden, ausgelesen und aufbereitet werden.

Um einen Vergleich vornehmen zu können ist es notwendig, die Schieberegisterpositionen der simulierten Trigger-Daten denen der H1-Daten-Simulation anzupassen

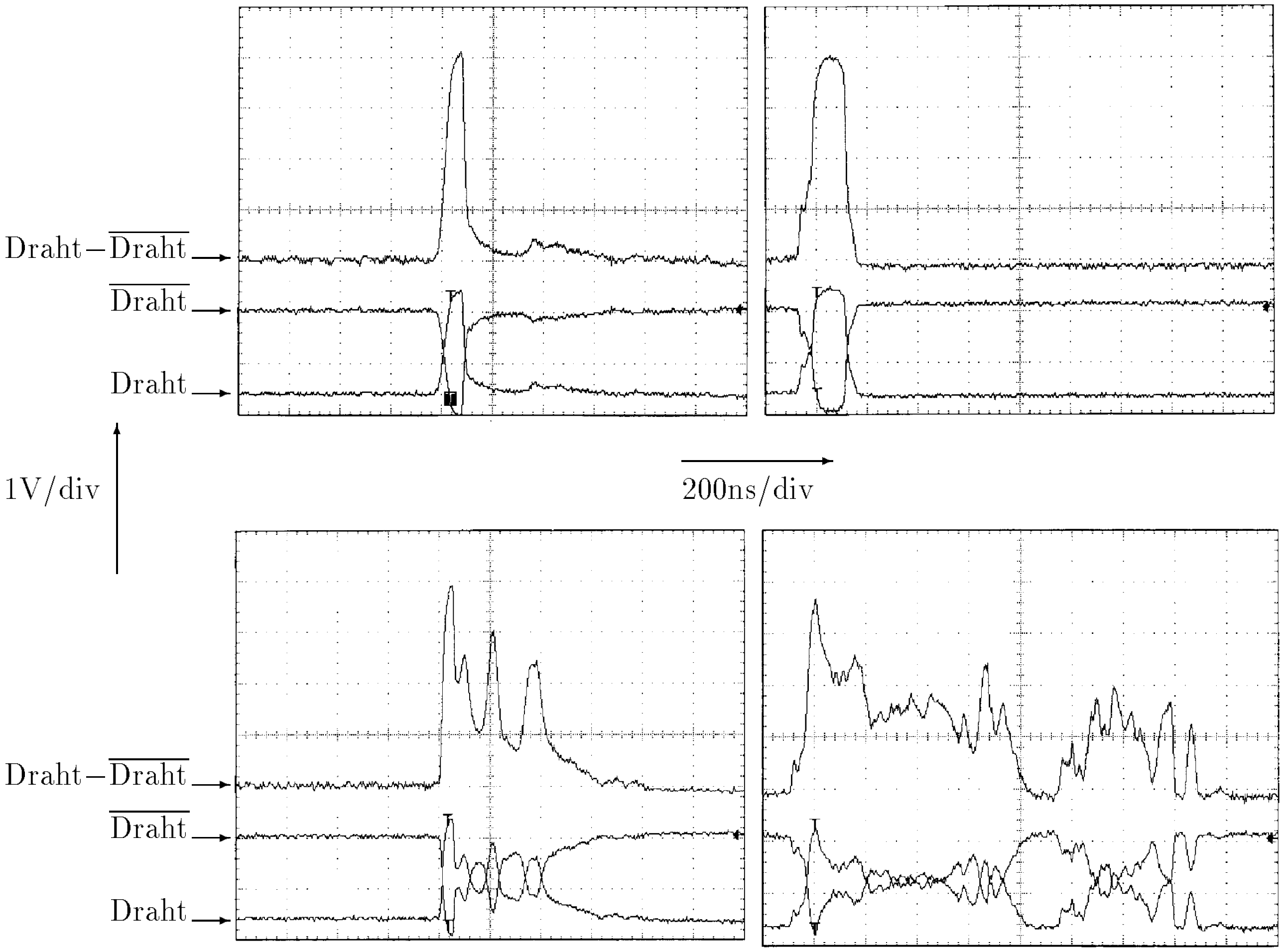

Abbildung 5.2: *Signaldrahtpulse der Driftkammern COZ (links) und CIZ (rechts). Oben sind "normale" Pulse und unten Folgepulse dargestellt.*

In den Simulationsprogrammen werden die schnellsten Pulse einer Schieberegisterposition 30 bei COZ und 40 bei CIZ zugewiesen. Spätere Pulse erhalten kleinere Postionen bis zu 11 bei COZ und 16 bei CIZ. Das Ergebnis der Anpassung der Schieberegisterpositionen ist in Abbildung 5.3 zu sehen. Bei den Simulationen wurde so vorgegangen, daß die Schieberegisterpositionen jeweils eines Drahtes in der Reihenfolge ihres Auftretens einen Eintrag im Histogramm machten. Weiterhin wurden "sehr schnelle" Pulse die einer Schieberegisterposition 31, bzw. 41 entsprächen noch in Schieberegisterposition 30, bzw. 40 gehalten. Man sieht eine sehr gute Übereinstimmung der jeweiligen Schieberegisterpositionen. Die hohe Anzahl von Einträgen in Schieberegisterposition 30 bei COZ, bzw. 40 bei CIZ liegt daran, daß hier auch die Einträge der Schieberegisterpositionen 31, bzw. 41 enthalten sind. Die Einträge, die nicht auf der Geraden liegen, ergeben sich aus folgenden Gründen:

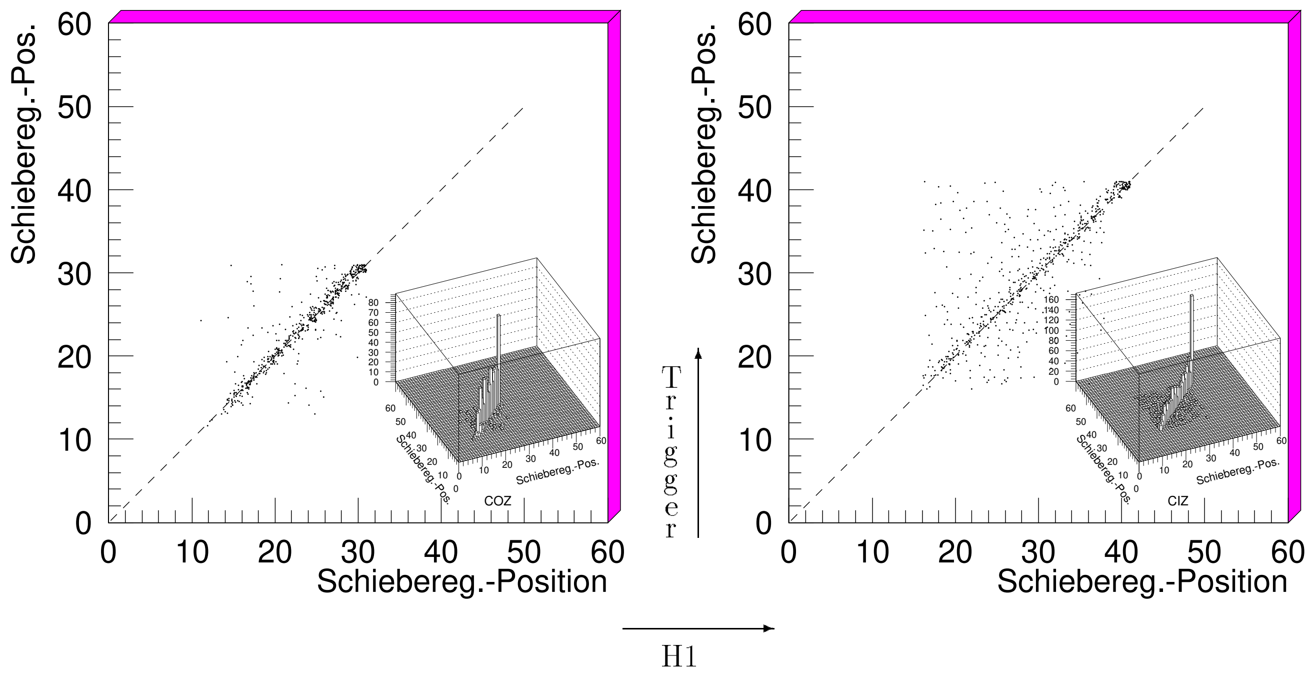

Abbildung 5.3: *Vergleich der Schieberegisterposition der Driftkammerpulse COZ (links) und CIZ (rechts) mit den entsprechenden aus dem RZ-Trigger*

- Die Schwellen auf den Adapterkarten wurden zu diesen Messungen anfangs nur nach Augenmaß eingestellt. Das heißt die Schwellen wurden so eingestellt, daß Kontrolleuchten für Eingangssignale auf den Inputkarten gerade nicht leuchteten, wenn die Driftkammern ohne elektrisches Feld betrieben wurden, also keine Signaldrahtpulse geliefert wurden.

- Weiterhin würde jeder Signaldraht eine eigene Schwelle für optimale Ergebnisse benötigen. Die Schwellen lassen sich aber nur für zwei Driftzellen, also acht Signaldrähte, gemeinsam einstellen.

- Die Schieberegisterpositionen werden in der Reihenfolge ihres Auftretens verglichen. Daher ergeben sich bei Signaldrähten mit einer nicht optimalen Schwelle Abweichungen von den H1-Daten, so daß sich z.B bei einer zu hohen Schwelle aus den H1-Daten frühere Pulse ergeben, diese aber mit den späteren der Trigger-Daten verglichen werden.

5.2.2 Vorgehensweise bei der Messung

Es wurden mit jeweils einer Schwelleneinstellung S, die für alle Driftzellen die gleiche war, Daten während des HERA-Betriebes genommen. Eine Zuordnung erfolgt über die sogenannte *Run-Nummer*, die von der Datennahme vergeben wird. Eine Aufstellung der Schwellen ist in Tabelle 5.1 aufgeführt.

Anschließend wurden einerseits die H1-Daten und andererseits die Trigger-Daten von den entsprechenden Programmen ausgelesen und rekonstruiert. Bei der Rekonstruktion wurde die Anzahl der Pulse pro Draht d getrennt nach H1-Daten ($N_{H1}(S,d)$)

Schwelle	Run-Nummer
200	87469
150	87461 - 87466
120	86628 - 86631
110	86633 - 86634
100	86635
90	86641 - 86651
80	86713
70	86950 - 86952
60	86955 - 86956
50	86960
40	86962
30	87459
20	87458
10	87456 - 87457

Tabelle 5.1: Aufgezeichnete Daten zur Bestimmung der Schwelleneinstellung

und Trigger-Daten ($N_{TR}(S,d)$) festgehalten. Daraus wurde für jeden Draht und jede Schwelle die *relative Pulsanzahl* $n(S,d) = \frac{N_{TR}(S,d)}{N_{H1}(S,d)}$ bestimmt.

Weiterhin wurde für jedes Ereignis zu jedem Puls die Schiebregisterposition festgehalten. Dann wurde drahtweise untersucht wie effizient die Trigger-Daten gegenüber den H1-Daten sind. Die Daten eines Drahtes gelten als daten-effizient ($Eff(S,d) = 1$), wenn:

- in den H1-Daten kein Puls registriert ist, aber in den Trigger-Daten, und wenn
- die Schieberegisterposition des ersten Pulses der Triggerdaten mit der Schieberegisterposition eines Pulses der H1-Daten übereinstimmt, oder sich um höchstens eins unterscheidet.

Die Daten gelten als daten-ineffizient ($Eff(S,d) = -1$),wenn:

- in den Trigger-Daten kein Puls registriert ist, aber in den H1-Daten, und wenn
- sich kein Puls der H1-Daten, der die Toleranz ± 1 in der Schieberegisterposition zum ersten Puls der Trigger-Daten einhält, finden läßt.

Bei den Trigger-Daten wird jeweils nur der erste Puls pro Draht genommen, da von den folgenden Pulsen nicht bekannt ist, ob sie Folgepulse oder durch Ionisation erzeugte Pulse sind.

Für jede Schwelle und jeden Draht wird die Anzahl der Daten-Effizienzen ($T(S,d) = \#(Eff(S,d) = 1)$) und -ineffizienzen ($F(S,d) = \#(Eff(S,d) = -1)$) aller untersuchter Ereignisse ermittelt. Daraus erhält man die relative Daten-Effizienz $D(S,d) = \frac{T(S,d)}{T(S,d)+F(S,d)}$.

In Verbindung mit der relativen Pulsanzahl kann dann die Schwelle eingestellt werden. Wenn die relative Dateneffizienz gegen eins strebt ($D \to 1$) liegt gute Übereinstimmung der Daten vor. Dies gilt aber nur dann, wenn die relative Pulsanzahl auch ungefähr eins ist ($n \approx 1$). Ist die relative Pulsanzahl viel größer als eins ($n \gg 1$), werden Rauschpulse in den Trigger-Daten mit aufgenommen, d.h. die entsprechende Schwelle ist zu niedrig.

In den Abbildungen 5.4 - 5.7 sind der Verlauf der relativen Pulsanzahl $n(S,d)$ (Dreiecke) und der relativen Daten-Effizienz $D(S,d)$ (Punkte) in Abhängigkeit der Schwelle dargestellt. Es handelt sich dabei nur um die Verläufe nach denen die Schwellen (vertikale Linien) bestimmt wurden (siehe Abschnitt 5.2.3).

5.2.3 Bestimmung der Schwellen

Man erkennt an den Verläufen (siehe Abbildungen 5.4 - 5.7) einen exponentiellen Anstieg der relativen Pulsanzahlen zu kleineren Schwellen hin. Bei CIZ ist die Grenze, ab der $n > 1.5$ gilt, größer als bei COZ. Das läßt auf ein kleineres Rauschen der Driftkammer COZ schließen. Allerdings wird auch die relative Daten-Effizienz $D = 1$ früher erreicht, so daß bei der Driftkammer CIZ höhere Schwellen möglich sind. Weiterhin erkennt man bei der COZ einen großen Anstieg der relativen Pulsanzahlen bei den Schwelleneinstellungen $10 \leq S \leq 20$.

Die relativen Daten-Effizienzen streben zu kleineren Schwellenwerten hin gegen eins. Bei CIZ geschieht das schneller als bei COZ. Weiterhin sind die relativen Dateneffizienzen bei CIZ i.a. gößer als $D > 0.5$, während bei COZ ein Anstieg ausgehend von $D \approx 0.1$ bei großen Schwellen gemessen wird. Die richtige Schwelle liegt dann an der Stelle, bei der möglichst hohe Daten-Effizienz ist, aber die relative Pulsanzahl $n \lesssim 1.5$ ist. Da aber zwei Driftzellen nur eine Schwelle erhalten, muß von jeweils acht Verläufen (z.B. CIZ1d1 bis CIZ2d4) derjenige, aus dem sich die höchste Schwelle ergibt, gewählt werden (siehe Abbildung 5.4 - 5.7).

Für den Betrieb wurden dann die in Tabelle 5.2 aufgelisteten Schwellen gewählt.

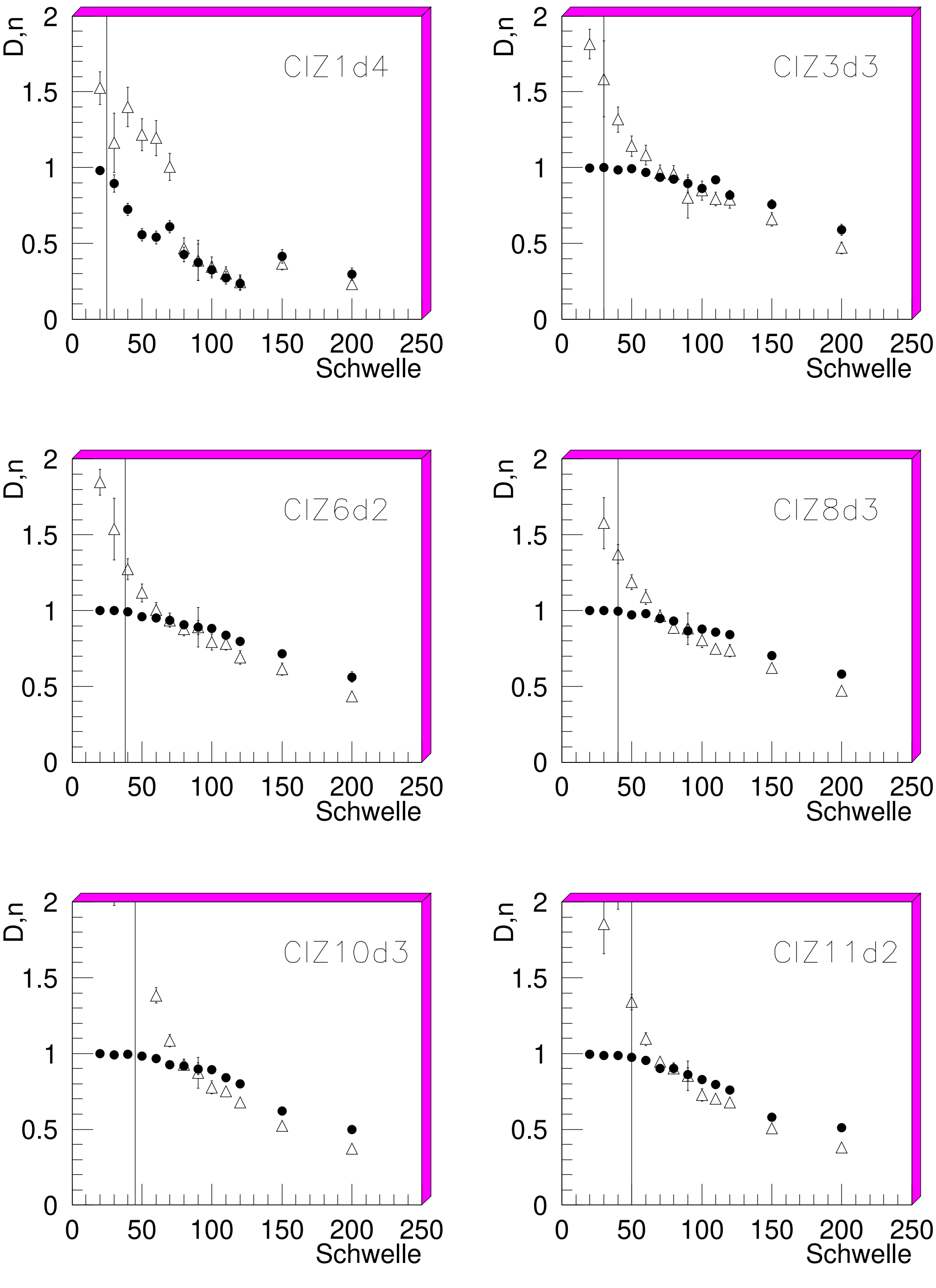

Abbildung 5.4: *Verlauf der relativen Pulsanzahl $n(S)$ (Dreiecke) und der relativen Daten-Efiizienez $D(S)$ (Punkte) eines Drahtes in Abhängigkeit von der Schwelle. Die vertikalen Linien entsprechen den Schwelleneinstellungen.*

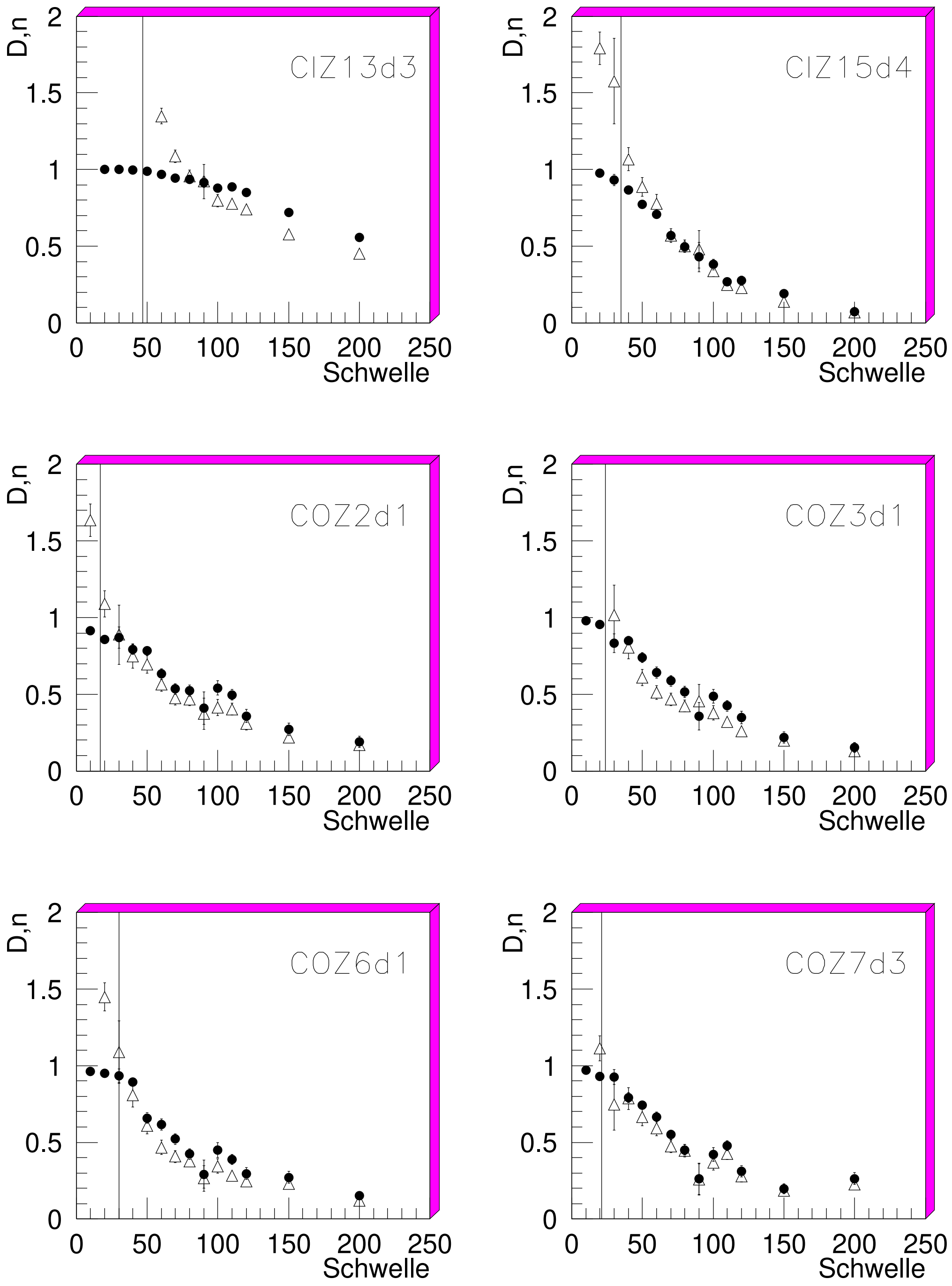

Abbildung 5.5: *Verlauf der relativen Pulsanzahl $n(S)$ (Dreiecke) und der relativen Daten-Efizienez $D(S)$ (Punkte) eines Drahtes in Abhängigkeit von der Schwelle. Die vertikalen Linien entsprechen den Schwelleneinstellungen.*

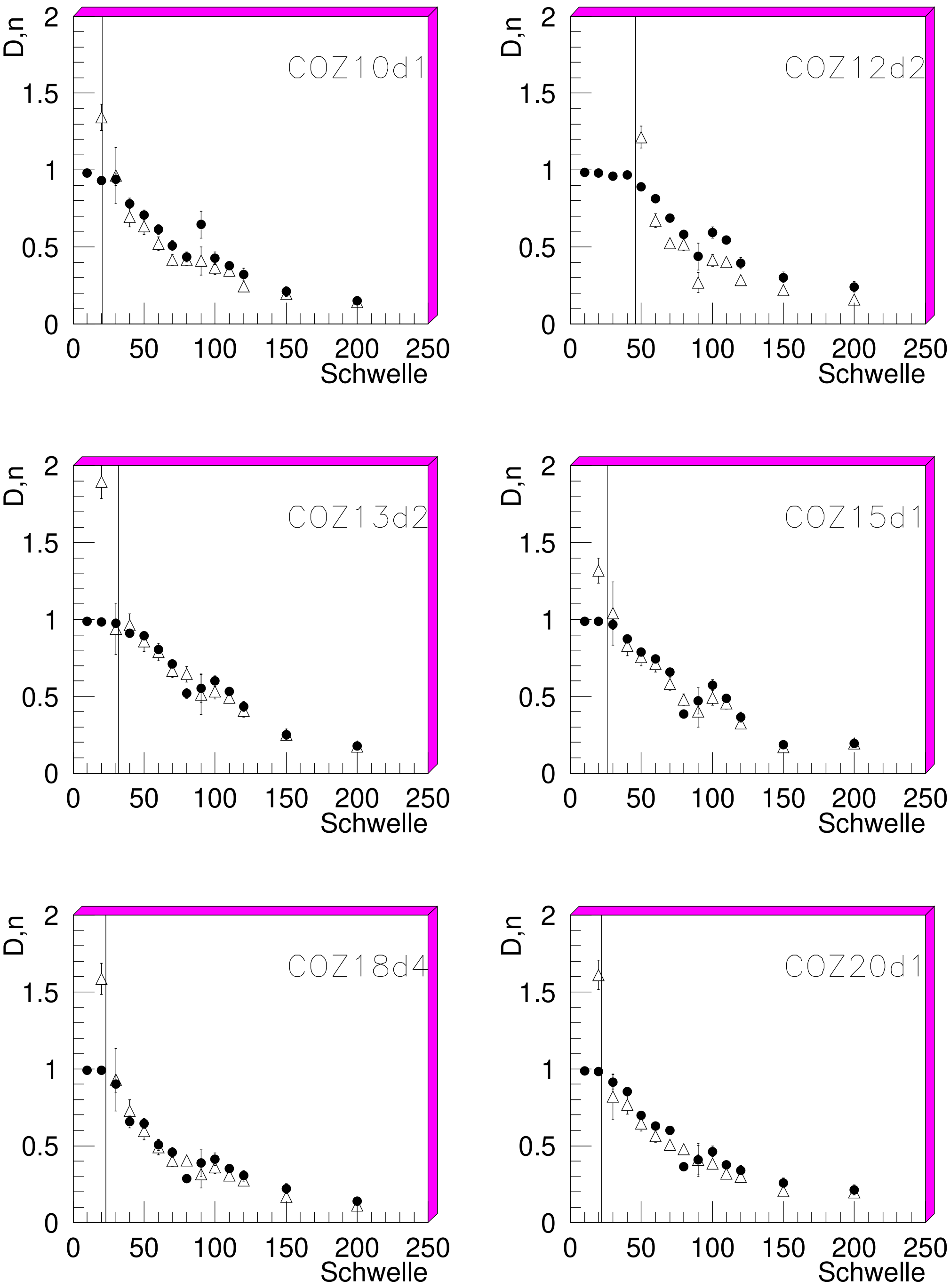

Abbildung 5.6: *Verlauf der relativen Pulsanzahl $n(S)$ (Dreiecke) und der relativen Daten-Efiizienez $D(S)$ (Punkte) eines Drahtes in Abhängigkeit von der Schwelle. Die vertikalen Linien entsprechen den Schwelleneinstellungen.*

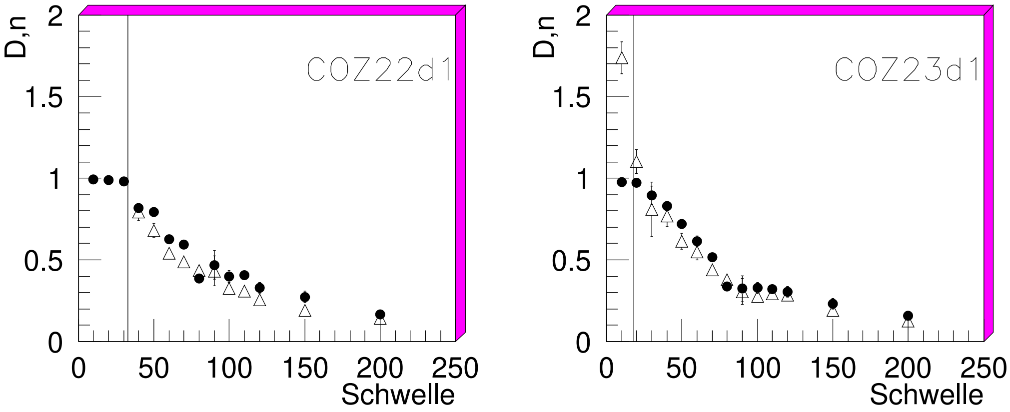

Abbildung 5.7: *Verlauf der relativen Pulsanzahl $n(S)$ (Dreiecke) und der relativen Daten-Efiizienez $D(S)$ (Punkte) eines Drahtes in Abhängigkeit von der Schwelle. Die vertikalen Linien entsprechen den Schwelleneinstellungen.*

Inputkarte	Zellen 1 u. 2	Zellen 3 u. 4
CIZ1	25	30
CIZ2	38	40
CIZ3	45	50
CIZ4	47	35
COZ1	17	24
COZ2	30	21
COZ3	19	46
COZ4	22	32
COZ5	23	22
COZ6	33	18

Tabelle 5.2: Adapterkartenschwellen auf den Inputkarten

5.3 Optimierung des Z-Vertexhistogramms des RZ-Triggers

Damit im Z-Vertexhistogramm zwei Spuren, die vom selben Punkt im Vertexbereich ausgehen, einen Zwei-Prong liefern, ist ein ganz bestimmtes Zeitverhalten des RZ-Triggers nötig. Stimmt das Zeitverhalten nicht, können die Prongs bis zu zehn Bins auseinanderliegen. Daher muß eine Optimierung des Zeitverhaltens anhand des Z-Vertexhistogramms vorgenommen werden.

In Abschnitt 5.3.1 wird beschrieben, wovon das Zeitverhalten des RZ-Triggers abhängt und wie es aussieht, wenn die RZ-Trigger-Simulation mit simulierten Kammerdaten betrieben wird. Weiterhin wird beschrieben, wie es verändert werden kann. Die Messungen zur Bestimmung Zeitverhaltens werden in Abschnitt 5.3.2 dargestellt. Auf die Auswertung der Messung und daraus resultierende Einstellung wird in Abschnitt 5.3.4 eingegangen.

5.3.1 Beschreibung des Zeitverhaltens des RZ-Triggers

Abhängigkeit des Zeitverhaltens

Mit Hilfe der Spursegmente der Driftkammern wird in den sekundären Schieberegistern der Kombinationskarten eine zeitliche Abbildung der Driftzelle erstellt (siehe Abbildung 5.8). Das heißt, der durch das Spursegment abgegebene Puls enthält, neben den Informationen über Richtung und Art des Spursegments, auch den Ort innerhalb der Driftzelle, an dem das Spursegment gefunden wurde. Mit jedem Zyklus wandert der Puls eine Position im sekundären Schieberegister weiter. In jedem Zyklus werden die Schieberegisterinhalte auf Kombinationen geprüft, die zu einem Prong im Z-Vertexhistogramm führt. Da das für beide Driftkammern gilt, kann so eine gefundene Kombination zwischen zwei Driftzellen bewirken, daß der Prong über einen Bereich des Z-Vertexhistogramms wandert. Nur für einen ganz bestimmten Zyklus stimmt die Position des Pulses im sekundären Schieberegister mit der Abbildung der Driftzelle überein und die daraus gefundene Kombination liefert den Ursprung der Teilchenspur (siehe Abbildung 5.8). Wurden zwei Teilchenspuren rekonstruiert, die vom selben Ursprung stammen, wandern deren Prongs auf dem Z-Vertexhistogramm aufeinander zu, treffen sich zu einem bestimmten Zeitpunkt in einem Bin, bilden also einen Zwei-Prong, und wandern anschließend wieder auseinander. Der Zeitpunkt, in dem sich die Prongs treffen, ist für dieses Ereignis entscheidend.

Da die Position des Pulses in den sekundären Schieberegistern eine Abbildung der jeweiligen Driftzelle ist und die relative Position zwischen den Driftzellen über eine Kombination entscheidet, müssen die Kombinationsmasken an die Driftgeschwindigkeiten in den Driftkammern angepaßt sein. Nicht angepaßte Masken bewirken eine andere relative Position zueinander und somit ein Ansprechen einer anderen Maske,

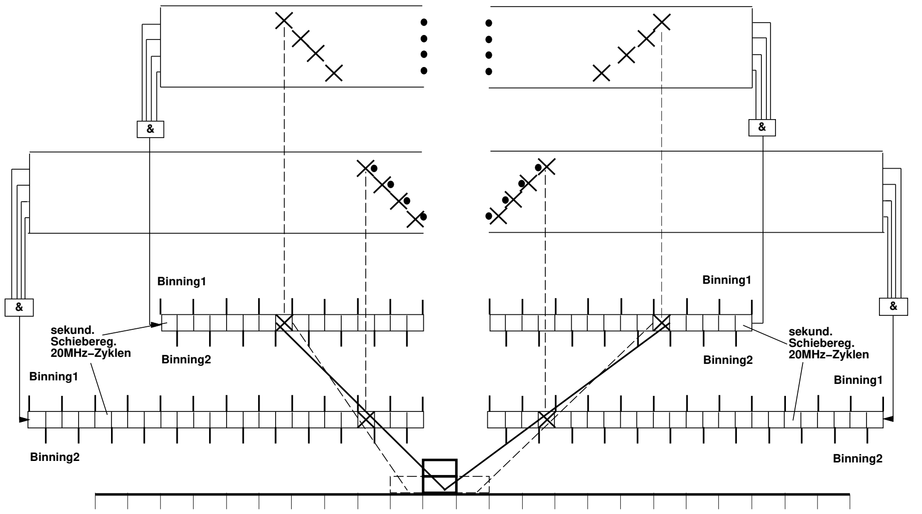

Abbildung 5.8: *Unterschiedliche Prongpositionen aufgrund unterschiedlichen Binnings*

die auf eine andere Binposition zeigt. Eine Änderung der Driftgeschwindigkeit z.B. in der Driftzelle CIZ von 10% bewirkt aufgrund der Masken, die mit der ursprünglichen Driftgeschwindigkeit arbeiten, einen Fehler in der Ortbestimmung von 10%. Dieser Fehler bewirkt durch die Geometrie der Driftkammern im schlechtesten Fall eine Differenz in der Binposition im Z-Vertexhistogramm von drei Bins. Der schlechteste Fall liegt vor, wenn das Spursegment sehr nahe an einer Zellwand gefunden worden ist und die Spur einen kleinen Winkel zur Strahlachse einschließt. Bei zwei gefundenen Spuren können dadurch aus einem ursprünglichen Zwei-Prong zwei einzelne Ein-Prongs im Abstand von sechs Bins werden. Daher ist eine korrekte Funktion der Spurrekonstruktion des RZ-Triggers nur möglich, wenn die Masken der Kombinationskarten den Driftgeschwindigkeiten der Driftkammern angepaßt sind.

Da die sekundären Schieberegister mit der HCLK getaktet werden, die Spursegmentpulse aber mit doppelter HCLK-Frequenz ankommen, werden am Eingang der sekundären Schieberegister die Pulse paarweise zusammengefaßt (Binning; siehe Abschnitt 3.3.2). Die Vertexposition ist durch die Kombinationsmasken so bestimmt, als würde die Spur durch die Mitte der HCLK-Abschnitte laufen. In Abbildung 5.8 sind die Schiebregisterpositionen des sekundären Schieberegisters in doppelte HCLK-Abschnitte geteilt. Die Zusammenfassung durch das jeweilige Binning ist durch die seitlichen Striche gekennzeichnet. Daher durchkreuzen die Linien, die die gefundenen Kombinationen repräsentieren, abhängig vom Binning jeweils die Mitte des HCLK-Abschnitts. Die durchgezogenen Kombinationslinien sind Binning1 zuzuordnen, die gestrichelten Binning2. Man sieht also, daß sich durch das Binning unterschiedliche Prongpositionen ergeben, so daß ein Zwei-Prong in zwei einzelne Prongs resultieren kann. Der Abstand hängt von der Richtung der gefundenen Spur ab, und auf welcher Seite der Signaldrähte in der Driftzelle die Spursegmente gefunden wurden. Wenn die Spursegmente auf der gleichen Seite liegen, ist der Unterschied kleiner als wenn sie auf unterschiedlichen Seiten liegen. Die hier gewählte Übereinstimmung bei Binning1 ist wilkürlich und muß erst noch geprüft werden.

Da also das Zeitverhalten des RZ-Triggers von den Kombinationsmasken abhängt, die gefundenen Spursegmente aber vorher von doppelter HERA-Frequenz auf HERA-Frequenz zusammengefaßt werden, ergibt sich daraus eine Abhängigkeit des Zeitverhaltens vom Binning in den Kombinationskarten.

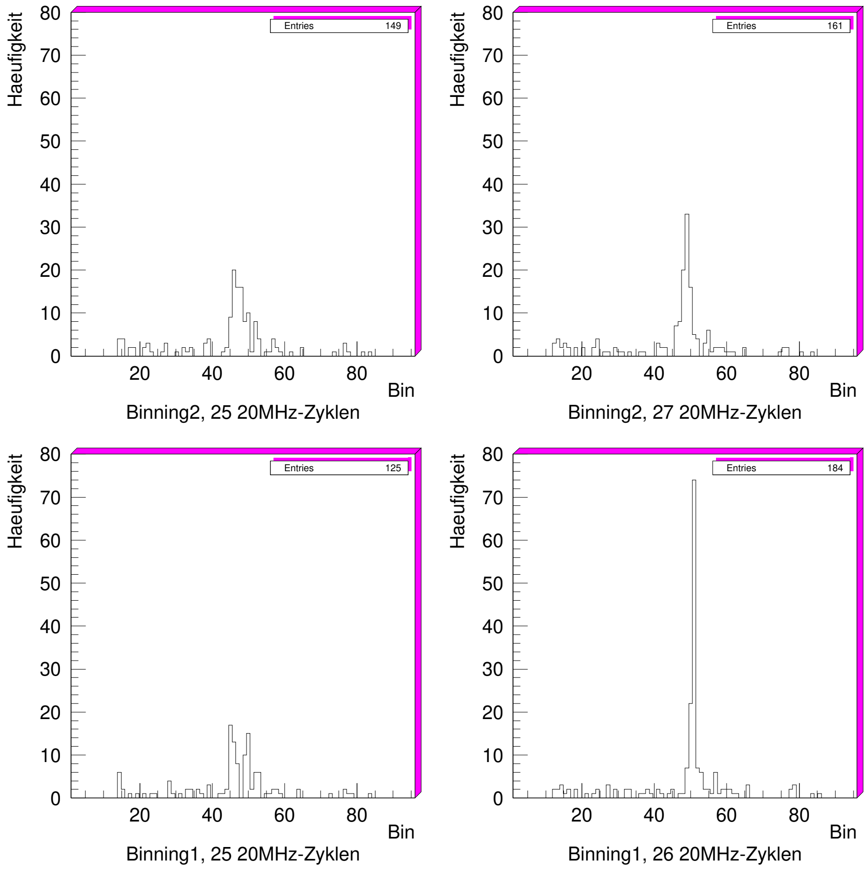

Abbildung 5.9: *Auflösung des Z-Vertexhistogramms nach einer bestimmten Zeit und getrennt nach Art des Binnings*

Inputdaten von Monte-Carlo-Simulationen künstlich generierter Paare, die Zwei-Prongs um Bin 50 herum erzeugen, wurden mit dem RZ-Trigger-Simulationsprogramm mit den beiden Arten des Binnings rekonstruiert und die Streuung des Z-Vertexhistogrammms nach einer bestimmten Anzahl doppelter HERA-Takte festgehalten (siehe Abbildung 5.9). Man erkennt deutlich den Unterschied in der Streuung der Z-Vertexhistogramme für Zwei-Prongs zwischen Binning1 und Binning2 und daß man nach genau 26 Zyklen mit doppelter HERA-Frequenz, wonach die Masken erstellt wurden, mit Binning1 die beste Streuung von Zwei-Prongs erhält.

Mit diesen Parametern wurde im folgenden die RZ-Trigger-Simulation betrieben, um das Zeitverhalten des RZ-Triggers entsprechend einstellen zu können.

Um das Zeitverhalten des RZ-Triggers einstellen zu können, gibt es zwei mögliche Parameter zu verändern:

- Die Anzahl der zusätzlichen Verzögerungs-Zyklen, genannt Extrazyklus, in der Synchronisationstufe der Inputkarten.
- Die Phase der HERA-Clock (HCLK).

Diese beiden Möglichkeiten sollen im folgenden erklärt werden.

Anzahl der Verzögerungs-Zyklen

In der Synchronisationsstufe der Inputkarten besteht die Möglichkeit, die von den Driftkammern kommenden Pulse zu verzögern. Dadurch kann man Laufzeitunterschiede der Pulse, die sich z. B. aufgrund unterschiedlicher Kabellängen ergeben, in Schritten mit doppelter HERA-Frequenz berücksichtigen. Weiterhin wird dadurch die unterschiedliche Länge der Driftzellen von CIZ und COZ ausgeglichen. Außerdem kann durch jeweils einen Extrazyklus für alle Driftkammern zwischen Binning1 und Binning2 gewechselt werden.

Für die Einstellung wurden daher pro Messung bei festgehaltener HERA-Clock-Phase jeweils ein bis drei Extrazyklen eingestellt, wobei eine relative Differenz der Extrazyklen zwischen CIZ und COZ nicht geändert wurde.

Phase der HERA-Clock

Wegen der Verzögerungszeiten der HERA-Clock zwischen dem CTC und dem STC durch verschiedene Kabellängen kann nicht garantiert werden, daß die HCLK phasenfrei am RZ-Trigger ankommt. Daher kann während des Betriebs, durch einen zeitlichen Offset, kein eindeutiges Binning vorliegen. Dadurch würden weniger Pulse in den ersten Zyklus fallen. Es ist also notwendig, durch Verschieben der HCLK-Phase P, die optimale Einstellung für Binning1 zu finden. Aufgrund kleiner Unterschiede der Kabellängen zwischen den Driftkammern und dem RZ-Trigger kann eine Phase zwischen CIZ und COZ auftreten, so daß eine individuelle HCLK-Phaseneinstellungen nötig wäre. Visuelle Untersuchungen der schnellsten Pulse ergaben jedoch keine Phasenbeziehung zwischen den Driftkammern.

Zur Einstellung wurde die HCLK-Phase in 16ns-Schritten von $P = 0$ns bis $P = 96$ns verschoben. Die aus der vorherigen Messung ermittelte Anzahl der Extrazyklen für Binning1 wurde festgehalten.

Bei beiden Messungen wurden Daten während des HERA-Betriebs (siehe Tabelle 5.3 und 5.4) genommen und später mit den RZ-Trigger-Simulationsprogrammen rekonstruiert und, wie in Abschnitt 5.3.4 beschrieben, weiterbehandelt.

$20MHz$-Extrazyklen	RUN
0	89524 - 89725
1	90121
2	89927 - 89944
3	90205

Tabelle 5.3: *Datennahme für die Einstellung der Extrazyklen für die Driftkammerpulse*

HCLK-Phase [ns]	RUN(Ereignis)
0	89190 - 90191
16	89330 - 89445(63000)
32	89445(69000) - 89470
48	89471 - 89523
56	89945 - 89979(28000)
64	89524 - 89725(13000)
72	89979(33000) - 90041
80	89725(19000) - 89792
96	90075 - 90109

Tabelle 5.4: *Datenenahme für die Einstellung der* HERA-*Clock-Phase*

5.3.2 Untersuchung der Daten unter dem Aspekt des Zeitverhaltens

Die beste Methode, das Zeitverhalten des RZ-Triggers einzustellen, wäre die Selektion von Ereignissen mit zwei Spuren, z.B. kosmische Strahlung durch den Vertexbereich, aus den genommenen Daten. Bei optimaler Einstellung des RZ-Trigger sollen diese Ereignisse Zwei-Prongs im Z-Vertexhistogramm erzeugen, so daß eine Untersuchung der Auflösung in Abhängigkeit der HCLK-Phase, bzw. der Extrazyklen, wie dies bei der Simulationsparameterbestimmung geschehen ist, die beste Einstellung liefert.

So kann jedoch nicht vorgegangen werden, da die Driftgeschwindigkeit in der Driftkammer CIZ, aufgrund von Gasänderung, 10% größer geworden ist und die Kombinationsmasken nicht mehr daran angepaßt werden konnten. Selektierte Ereignisse mit zwei Teilchenspuren würden also nicht in einen Zwei-Prong im Z-Vertexhistogramm resultieren und eine Untersuchung der Aufösung wäre zwecklos. Außerdem wurden in nur 10% der Ereignisse RZ-Trigger-Daten ausgelesen, und es kann keine ausreichnde Statistik erzielt werden.

Daher mußte eine Untersuchung der Daten wie in Abschnitt 5.3.4 vorgenommen werden. Zuvor müssen die ausgelesenen Z-Vertexhistogramme auf Pronginhalte geeicht werden, da die Auslese die Bininhalte in FADC-Einheiten, die Analogwerten entsprechen, speichert. Dies ist im Abschnitt Prongeichung beschrieben. Anschließend ist in 5.3.3 beschrieben, wie der richtige Zeitpunkt, bezüglich des Ereignis-t_0 zu dem das Z-Vertexhistogramm die beste Auflösung haben soll, bestimmt wurde.

5.3.3 Voruntersuchungen

Prong-Eichung

Da die Elektronik die Vertexhistogramme der einzelnen Kombinationskarten binweise analog zum Z-Vertexhistogramm aufsummiert, sind aufgrund der Toleranzen der Elektronikbausteine Schwankungen in den Pronghöhen vorhanden. Die analogen Pronghöhen werden für die Auslese mit Analog-Digital-Wandlern in digitale Einheiten umgewandelt. Da die Simulationen aber als Ausgang nur diskrete Prongs liefern, ist es für weitere Untersuchungen nötig festzustellen, ob eine Trennung der analogen Werte vorliegt, um so eine Prongklassifikation zu ermöglichen.

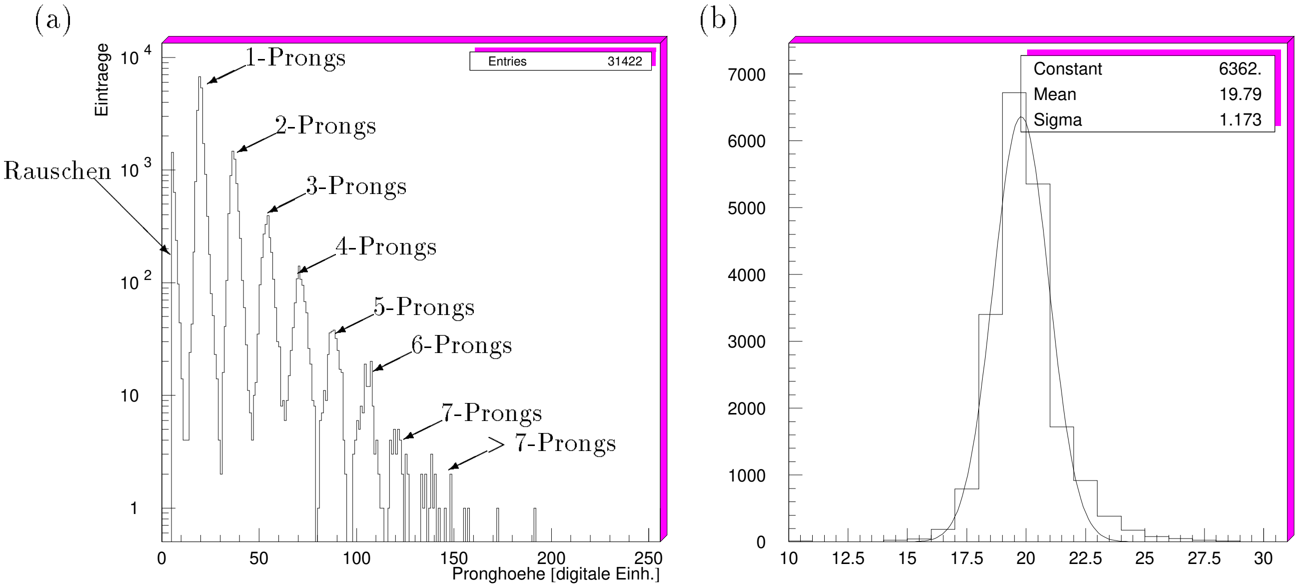

Abbildung 5.10: *(a) Verteilung der Pronghöhen im Z-Vertexhistogramm in digitalen Einheiten. (b) Angepaßte Gaussverteilung an den ersten Peak.*

Für die Prong-Eichung wurden die Inhalte der Bins, die größer als Null sind, ausgelesen und in ein Histogramm eingetragen. Dies ist in Abbildung 5.10(a) in halblogarithmischer Darstellung zu sehen. Man erkennt ein Rauschen zwischen fünf und zwölf Einheiten. Kleinere Rauschwerte sind nicht vorhanden, da erst Werte, die größer als vier sind in die TZTN-BOS-Bänke geschrieben werden. Es ist eine klare Trennung unter den Prongs bis zu Sieben-Prongs zu erkennen. Größere Prongs treten nur mit einer Häufigkeit von 0.05% auf. Eine nähere Untersuchung ergab, daß die Mittelwerte der

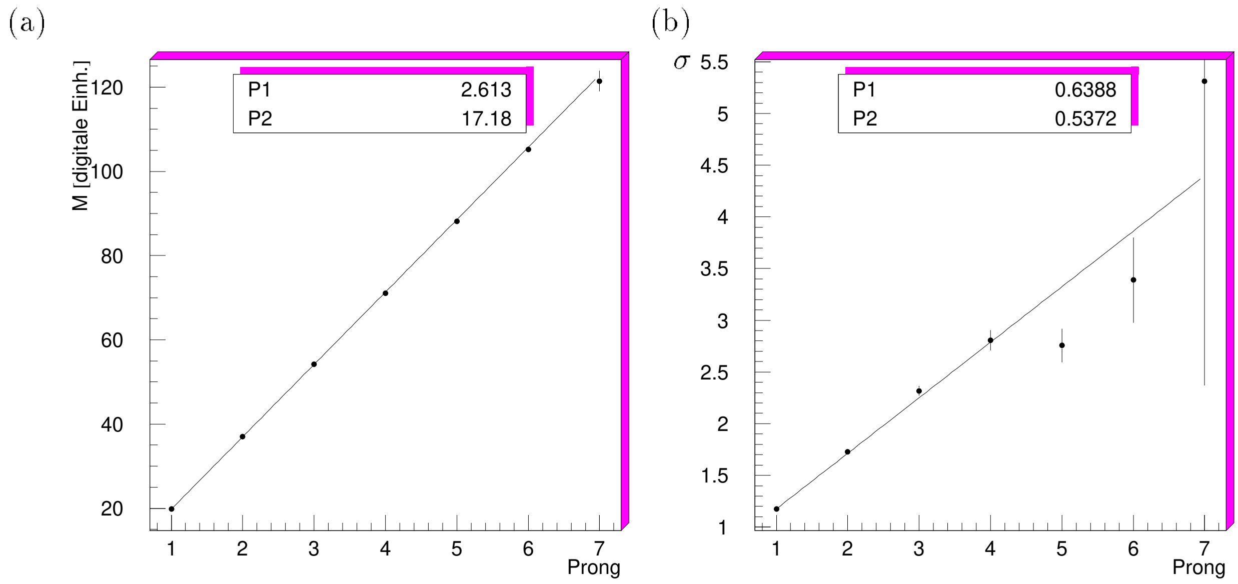

Abbildung 5.11: *(a) Lineare Anpassung der Erwartungswerte der Pronghöhen. (b) Lineare Anpassung der Streuungen bei einer Peakanpassung mit einer Gaussverteilung*

Pronghöhenpeaks äquidistant sind (siehe Abbildung 5.11(a)). Zur Untersuchung wurde zu jedem Peak eine Gaußverteilung angepasst (siehe Abbildung 5.10(b) und [NuR92]) und deren Erwartungswert M, sowie deren Streuung σ bestimmt. Anschließend wurde an die erhaltenen Werte eine lineare Anpassung jeweils für die Erwartungswerte und die Streuung vorgenommen (siehe Abbildung 5.11(a)+(b)). Die Koeffizienten der Anpassungen ergeben sich wie folgt:

- Erwartungswert der Pronghöhen:

$$M = (2.613 \pm 0.020) + (17.18 \pm 0.016) \cdot \mathrm{Prong}$$

- Streuung der Gaussanpassung:

$$\sigma = (0.639 \pm 0.020) + (0.537 \pm 0.014) \cdot \mathrm{Prong}$$

Der Offset der Erwartungswerte ist ein Grundwert, genannt Pedestal, der sich beim Abgleich der analogen Histogrammkanäle auf Null ergibt. Das Pedestal ist über das Steuerungsprogramm einstellbar und war während der Datennahmen auf zwei festgelegt. Weiterhin erkennt man, daß ein Prong einen Beitrag von ungefähr 17 digitalen Einheiten liefert. Bei höheren Prongs steigt dabei aber die Streuung. Da aber größere als Sechs-Prongs kaum vorkommen ($\approx$ 0.2%) kann eine korrekte Klassifikation der Histogramminhalte vorgenommen werden.

Bestimmung des Zeitpunkts an dem die kleinste Z-Vertexhistogramm-Streuung vorliegt

Um den Zeitpunkt der besten Auflösung bestimmen zu können, müssen die vom RZ-Trigger erzeugten und direkt ausgelesenen Z-Vertexhistogramme mit dem Z-Vertexhistogramm, das sich aus der RZ-Trigger-Simulation mit den aus den Inputkarten ausgelesenen Daten ergibt, verglichen werden. Der Vergleich erfolgt ereignisweise zwischen dem simulierten Z-Vertexhistogramm, das aufgrund der Simulationsparameter die beste Auflösung hat, und den letzten 50 Trigger-Z-Vertexhistogrammen, von dem Zeitpunkt, an dem die Auslese gestartet wurde (HCLK = t(L2keep)). Dazu wurde binweise die Differenz zwischen den entsprechenden Z-Vertexhistogrammen gebildet, und in ein Histogramm eingetragen. In Abbildung 5.12 sind die entstandenen Histogramme für ± 1 HCLK um den Zeitpunkt bester Übereinstimmung dargestellt.

Man sieht, das zum Zeitpunkt $T = t(\text{L2keep}) - 6$ die meisten Einträge die Differenz Null ergeben. Der Effekt, daß sich trotzdem noch Differenzen ungleich Null ergeben, d.h. die Histogramme sind nicht exakt gleich, liegt an der fehlenden Einstellung der HCLK-Phase. Das vom RZ-Trigger gelieferte Z-Vertexhistogramm muß also bezüglich der Simulation nicht zum gleichen Zeitpunkt entstanden sein. Es kann ein Zeitunterschied von bis zu ± 48ns bestehen, da die Simulation mit doppelter HERA-Frequenz arbeitet. Eine HCLK früher, bzw. später verschiebt sich die am häufigsten auftretende Differenz.

Mit dem so ermittelten Z-Vertexhistogramm des RZ-Triggers, im folgenden Trigger-Histogramm genannt, werden die weiteren Untersuchungen fortgeführt.

Eine visuelle Prüfung der Prong-Bit-Triggerelemente mit den sich aus den Nachbarsummenhistogrammen ergebenen höchsten Prongs ergab, daß das Trigger-Histogramm eine HCLK vor dem Ereignis-t_0, das z.B. durch das Triggerelement zVtx_t$_0$ geliefert wird, entsteht.

5.3.4 Einstellung des Zeitverhaltens des RZ-Triggers

Da wegen der nicht an die Kombinationsmasken angepaßten Driftzeit eine einfache Untersuchung von Zwei-Prongs im Z-Vertexhistogramm nicht möglich ist, muß eine Untersuchung des Z-Vertexhistogramms mit Hilfe der beiden Simulationen erfolgen.

Vorgehensweise

Die Untersuchung beruht darauf, die Differenz in der Binposition eines identifizierten Prongs aus dem mit H1-Daten simulierten Z-Vertexhistogramm und dem Trigger-Histogramm (siehe Abbildung 5.13) zu minimieren. Ein Prong wird durch die an der Kombination beteiligten Halbzellen von CIZ und COZ identifiziert. Stimmen die gefundenen Halbzellen in der H1-Daten-Simulation mit denen der Trigger-Daten-Simulation

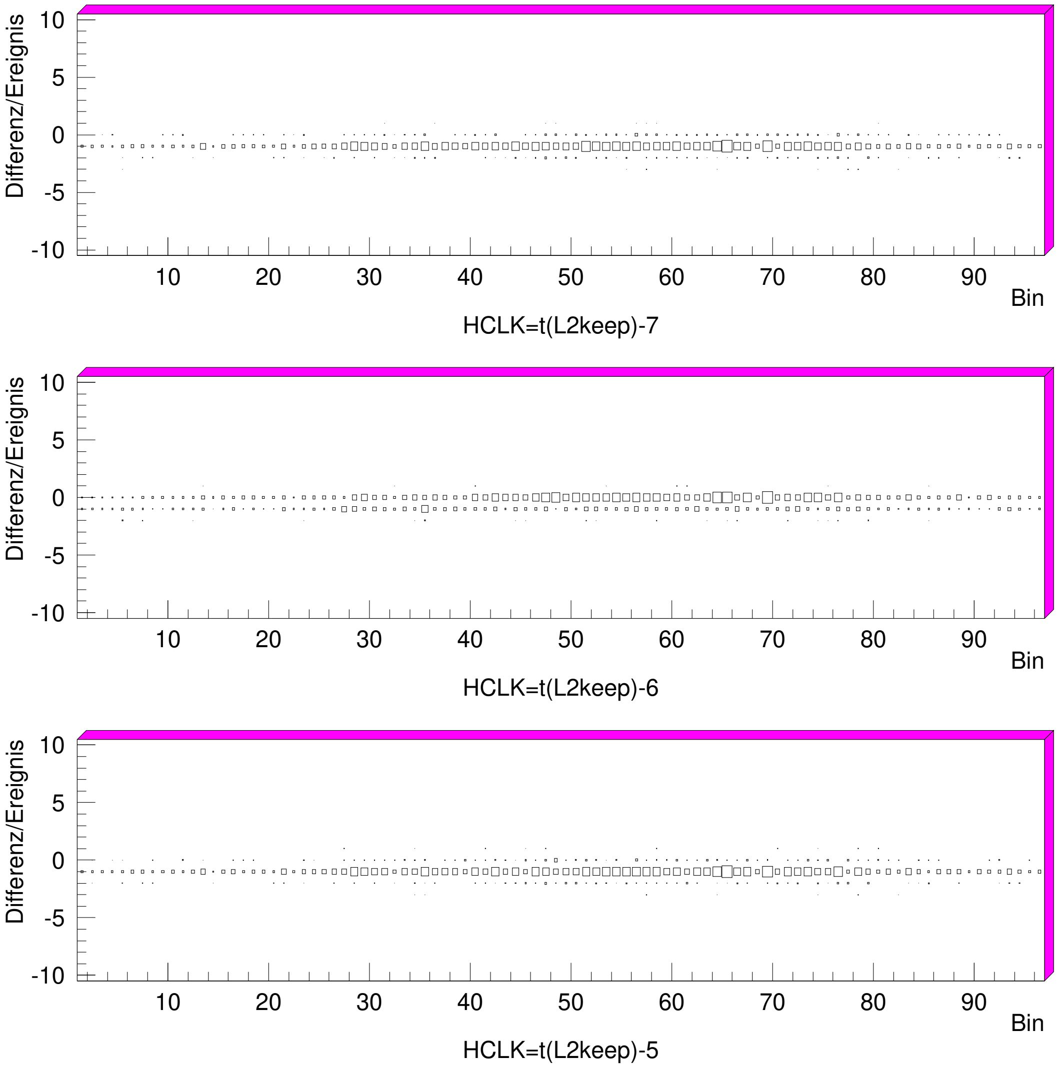

Abbildung 5.12: *Differenz der Pronghöhen des simulierten Z-Vertexhistogramms mit den direkt ausgelesenen Z-Vertexhistogrammen.*

überein, wird ein Prong an entsprechender Binposition, die sich aus dem simulierten Z-Vertexhistogramm der H1-Daten ergibt, im Trigger-Histogramm gesucht. Befindet sich an dieser Binposition kein Prong, so wird im Umkreis von ± 3 Bins danach gesucht und der Differenzbetrag der Binpositionen, folgend Bindifferenz genannt, bestimmt. Zur Identifikation und Bildung der Bindifferenz muß dabei das Z-Vertexhistogramm der H1-Daten-Simulation genommen werden, da hier keine Manipulationen, die das Zeitverhalten des RZ-Triggers verändern und somit auch Einfluß auf die Trigger-Daten haben, vorhanden sind.

Da Ereignisse mit vielen Einträgen im Z-Vertexhistogramm eine große Anzahl von Spursegmenten in den Driftzellen erzeugen und somit keine eindeutige Identifikation mehr möglich ist, muß eine Selektion der Ereignisse vorgenommen werden. Die Selek-

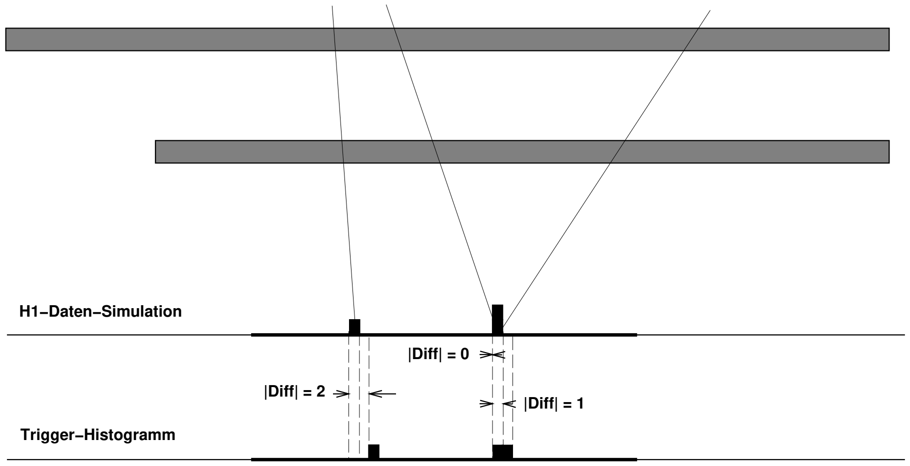

Abbildung 5.13: *Bestimmung der Bindifferenz*

tion umfaßt folgendes:

- Die Anzahl der gefundenen Prongs muß kleiner als fünf sein.
- Es werden nur Kombinationen benutzt, bei denen die beteiligten Spursegmente auf unterschiedlichen Seiten der Signaldrähte gefunden wurden. Das heißt, wenn das beteiligte Spursegment der COZ auf der rechten Seite der Signaldrähte gefunden wurde, muß das Spursegment der CIZ auf der linken Seite liegen. Dadurch wird eine höhere Sensibilität für Änderungen erreicht (siehe Abschnitt 5.3.1 auf Seite 51).
- Es dürfen keine rekonstruierten Spuren gefunden werden, die sich kreuzen. Dadurch kann eine falsche Identifikation von Prongs, die sich aus kreuzenden Spuren mit $80° < \theta < 100°$ ergeben, unterbunden werden, da diese Prongs sehr nah beieinander liegen.

Die Häufigkeit der Bindifferenzen von Null, Eins, Zwei und Drei sind getrennt nach Extrazyklus, bei fester HCLK-Phase, bzw. HCLK-Phase bei konstanter Anzahl von Extrazyklen in den Tabellen 5.5 und 5.6 zusammengefaßt.

Bestimmung der Parameter für das Zeitverhalten des RZ-Triggers

Aus den bestimmten Häufigkeiten p_k bei der Bindifferenz k können die Parameter für das Zeitverhalten des RZ-Triggers, die Anzahl der Extrazyklen und die HCLK-Phase P, ermittelt werden. Es muß bestimmt werden, bei welchem Parameter die Häufigkeit p_0 der Bindifferenz $k = 0$, relativ zu den anderen Bindifferenzen des Parameters, am größten ist. Dazu werden die Häufigkeiten als poissonverteilt $p_k = \frac{\lambda^k}{k!} \cdot e^{-\lambda}$ angenommen [Bro87]. Die Streuung der Verteilung $\sigma = \sqrt{\lambda}$ gibt dann die Qualität an, d.h. ob die

$20MHz-$ Extrazyklen	Bindifferenz 0	1	2	3
0	135	28	22	15
1	33	19	10	5
2	13	14	15	2
3	15	33	40	32

Tabelle 5.5: *Häufigkeiten der Bindifferenzen bei Änderung der Anzahl der Extrazyklen*

gemessene Verteilung schmal und hoch, also auf Null konzentriert, oder verschmiert und flach ist. Je kleiner σ ist, desto besser ist die Übereinstimmung in der Binposition. Aus den ersten beiden Häufigkeiten erhält man die Streuung wie folgt:

$$\sigma = \sqrt{\lambda} = \sqrt{\frac{\lambda e^{-\lambda}}{e^{-\lambda}}} = \sqrt{\frac{p_1}{p_0}}$$

Die Streuung der gemessenen Häufigkeiten wird für alle Parameter bestimmt. In Abbildung 5.14 sind die erhaltenen Werte getrennt nach Parameter als Punkte dargestellt.

Man erkennt ein stetiges Ansteigen der Streuung mit der Anzahl der Extrazyklen. Das heißt, daß der Abstand der Binpositionen mit zunehmender Anzahl der Extrazyklen größer wird. Es sind also keine Extrazyklen in der Synchronisationsstufe nötig. Man kann bei dieser Einstellung nicht zu langsam sein, da sonst bei den Voruntersuchungen, bei denen der Zeitpunkt an dem die kleinste Z-Vertexhistogramm-Streuung vorliegt (siehe Abschnitt 5.3.3), ein späterer Zeitpunkt gefunden worden wäre. Bei der Messung der HCLK-Phase sieht man mit steigender Phase eine kleiner werdende Streuung bis zur HCLK-Phase $P = 64$ns, die anschließend wieder größer wird.

HCLK-Phase [ns]	Bindifferenz 0	1	2	3
0	45	30	24	11
16	77	50	42	15
32	89	52	52	23
48	133	62	72	28
56	96	21	18	9
64	135	28	22	15
72	100	28	16	16
80	104	35	24	10
96	83	60	52	26

Tabelle 5.6: *Häufigkeiten der Bindifferenzen bei Änderung der HCLK-Phase*

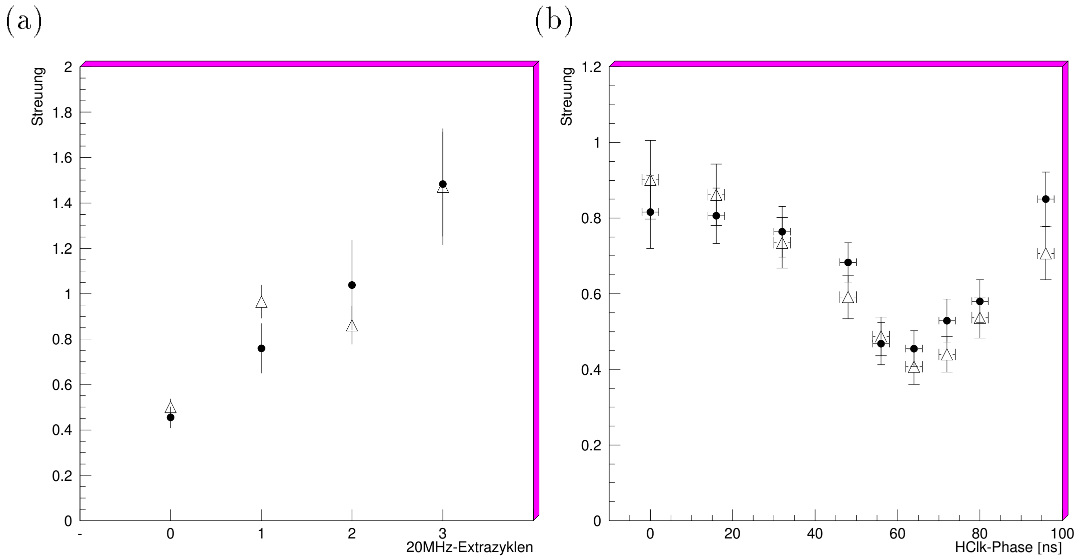

Abbildung 5.14: *Streuung der Häufigkeitsverteilungen in Abhängigkeit von der (a) Anzahl der Extrazyklen und (b) der HCLK-Phase.* •*: Ergebnisse durch Änderung der Parameter in der Elektronik;* △*: Ergebnisse durch Änderung der Parameter in der Simulation.*

Die Minima der Meßkurven geben somit die Parameter der bestmöglichen Übereinstimmung. Man erhält:

- Anzahl der Extrazyklen: 0
- HCLK-Phase P: 64ns

Die Messungen mit diesen Parametern ergeben folgende Effizienzen für die Übereinstimmung der Binposition:

- Genaue Übereinstimmung der Binposition: $\approx 68\%$.
- Maximale Differenz ± 1 in der Binposition: $\approx 82\%$.
- Maximale Differenz ± 2 in der Binposition: $\approx 93\%$.
- Maximale Differenz ± 3 in der Binposition: 100%.

Man erhält keine 100%ige Übereinstimmung in der Binposition, da der Vergleich zwischen der Elektronik und der H1-Daten-Simulation erfolgt, für die aber unterschiedliche Schwellen für die Driftkammerpulse gelten. Weiterhin können bei der Suche nach der Übereinstimmung Fehler auftreten, wenn die tatsächlichen Prongs nahe beieinanderliegen, da um den ermittelten Prong von -3 Binpositionen bis $+3$ Binpositionen durchsucht wird und der kleinste erhaltene Abstand gewählt wird.

$20MHz-$ Extrazyklen	Bindifferenz 0	1	2	3
0	224	56	33	23
1	87	81	96	33
2	62	46	112	74
3	12	26	62	67

Tabelle 5.7: *Häufigkeiten der Bindifferenzen bei Änderung der Anzahl der Extrazyklen in der Simulation*

Zur Kontrolle der Messung wurden die ermittelten Parameter am RZ-Trigger eingestellt und Daten genommen. Aus diesen Daten werden dann, genauso wie oben beschrieben, Ereignisse selektiert und die Z-Vertexhistogramme der H1-Daten-Simulation mit den Trigger-Histogrammen verglichen. Dabei werden pro Simulation jeweils die Simulationsparameter für die Anzahl der Extrazyklen von Null bis Drei variiert. Man erhält die in Tabelle 5.7 gelisteten Ergebnisse.

HCLK-Phase [ns]	Bindifferenz 0	1	2	3
0	64	52	51	16
16	66	49	38	16
32	87	47	26	18
48	103	36	20	10
56	118	28	16	10
64	133	22	12	13
72	134	26	19	11
80	111	32	23	12
96	76	38	29	11

Tabelle 5.8: *Häufigkeiten der Bindifferenzen bei Änderung der HCLK-Phase in der Simulation*

Für die Kontrolle der Phaseneinstellung werden Daten genommen, bei denen die HCLK-Phase $P = 0$ns und kein Extrazyklus am RZ-Trigger eingestellt ist. Die in Tabelle 5.8 tabellierten Messungen erhält man wie schon bei den anderen Messungen beschrieben.

Die aus diesen Verteilungen wie oben ermittelten Streuungen σ_{Sim} sind in Abbildung 5.14 als Dreiecke dargestellt. Man erkennt bei der Abhängigkeit von der HCLK-Phase eine sehr gute und bei der Abhängigkeit von den Extrazyklen eine ausreichende Übereinstimmung zwischen den beiden Meßkurven.

Einfluß der Veränderung der Parameter

Da das Trigger-Histogramm einen HCLK-Zyklus, also 96ns, vor dem Ereignis-t_0, liegt und am RZ-Trigger eine HCLK-Phase von P = 64ns eingestellt ist, benötigen die Triggerelemente des RZ-Triggers im CTC eine Verzögerung von 32ns.

Kapitel 6

Untersuchungen am RZ-Trigger

Nach der Einstellung des Zeitverhaltens des RZ-Triggers konnten weitere Untersuchungen, die den RAM-Trigger (Abschnitt 6.1), den Peak-Detektor (Abschnitt 6.2), Vergleiche der Triggerelemente des RZ-Triggers mit anderen Triggerelementen betreffen, und eine Effizienzbestimmung für zwei-Prongs (Abschnitt 6.2.4) vorgenommen werden. Bei den letzten beiden Punkten ist zu beachten, daß die erhaltenen Ergebnisse nicht die geänderte Driftzeit in der Driftkammer CIZ berücksichtigen. Korrekte Driftzeiten lassen eine Effizienzverbesserung erwarten.

6.1 Der RAM-Trigger

Nach den Labortests (siehe Kapitel 4) war zu erwarten, daß mit Hilfe des RAM-Trigger-Ausgangs wesentlich mehr Untergrund erkannt würde, als es bei den Überlegungen dazu geplant war. Daher wurde während des HERA-Betriebs der RAM-Trigger-Ausgang dahingehend geprüft, ob sich das im Test gezeigte Verhalten auch unter Betriebsbedingungen zeigt.

6.1.1 Untersuchung des RAM-Trigger-Ausgangs

Schon frühzeitig während des HERA-Betriebes zeigte sich eine zu geringe Rate des vom RAM-Trigger-Ausgang gelieferten Triggerelements. Ein Vergleich des mit Trigger-Daten simulierten RAM-Trigger-Ausgangs mit dem an den CTC gesandten Triggerelement des RAM-Trigger-Ausgangs zeigte, daß das Triggerelement nur in ~20% der Ereignisse, die von der Simulation mit RAM-Trigger-Ausgang vorausgesagt wurden, aktiv war. Auch ein extremes Verändern der Parameter für die auf der Histogrammkarte generierte Schwelle (siehe Abschnitt 3.3.2), so daß der Non-Vertex-Untergrund keinen Einfluß auf die Schwellenbildung hat und die Peakbewertung halbiert wurde, zeigte keine wesentliche Erhöhung der Rate des Triggerelements. Die Ursache dieses

Verhaltens ist zur Zeit noch ungeklärt, legt aber die Vermutung technischer Defekte nahe. Dieses muß in der folgenden Ruhephase des HERA-Speicherrings genauer untersucht werden.

6.2 Der Peak-Detektor

Im Zuge der zuvor beschriebenen Untersuchungen am RAM-Trigger-Ausgang wurden Untersuchungen am Peak-Detektor, der Einfluß auf die generierte Schwelle der Histogrammkarte (siehe Abschnitt 3.3.2) hat, gemacht. In Abschnitt 6.2.1 wird die Begründung für die Untersuchung, die in Abschnitt 6.2.2 erklärt ist, gegeben. Abschnitt 6.2.3 befaßt sich mit den Ergebnissen der Untersuchung.

6.2.1 Begründung der Untersuchung

Der vom Peak-Detektor ermittelte höchste Eintrag aus dem Nachbarsummenhistogramm, der Peak, beeinflußt die auf der Histogrammkarte generierte Schwelle wesentlich. Die gebildeten Nachbarsummen des Z-Vertexhistogramms bestimmen die Höhe der Signifikanzen (siehe Abschnitt 3.3.2). Da die Schwelle und die Signifikanzen miteinander verglichen werden, und beide Signale in der Elektronik analog behandelt werden, ist es nötig, daß sie in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen und daß die analogen Werte in Pronganzahlen klassifiziert werden können, wie dies bei den Einträgen im Z-Vertexhistogramm geschehen ist. Die Untersuchung beschränkt sich also darauf, eine Klassifikation der Einträge im Peak-Detektor vorzunehmen und über diese Klassifikation einen linearen Zusammenhang mit der Nachbarsumme zu finden.

6.2.2 Beschreibung der Untersuchung

Die Inhalte des Peak-Detektors können aus der TZTN-BOS-Bank, in der die analogen Werte der Elektronik in digitalen Einheiten abgespeichert sind (siehe Abschnitt 5.1.2), ausgelesen werden. Eine direkte Auslese des Nachbarsummenhistogramms aus der Elektronik, um diese in der TZTN-BOS-Bank zu speichern und von dort aus weiterverarbeiten zu können, ist nicht vorgesehen. Da aber die Addition zweier analoger Werte eine auf elektronischem Wege leicht zu realisierende wenig fehlerbehaftete Aufgabe ist, kann eine Fehlfunktion der Elektronik in diesem Teil ausgeschlossen werden und es genügt, die Bininhalte zweier Nachbarn des Z-Vertexhistogramms in der Simulation entsprechend zu summieren. Ein weiterer Vorteil, das Nachbarsummenhistogramm auf diese Art zu erhalten, liegt darin, daß das Z-Vertexhistogramm diesbezüglich bereits untersucht wurde. Man kann daher davon ausgehen, daß eine Klassifikation des Nachbarsummenhistogramms vorgenommen werden kann.

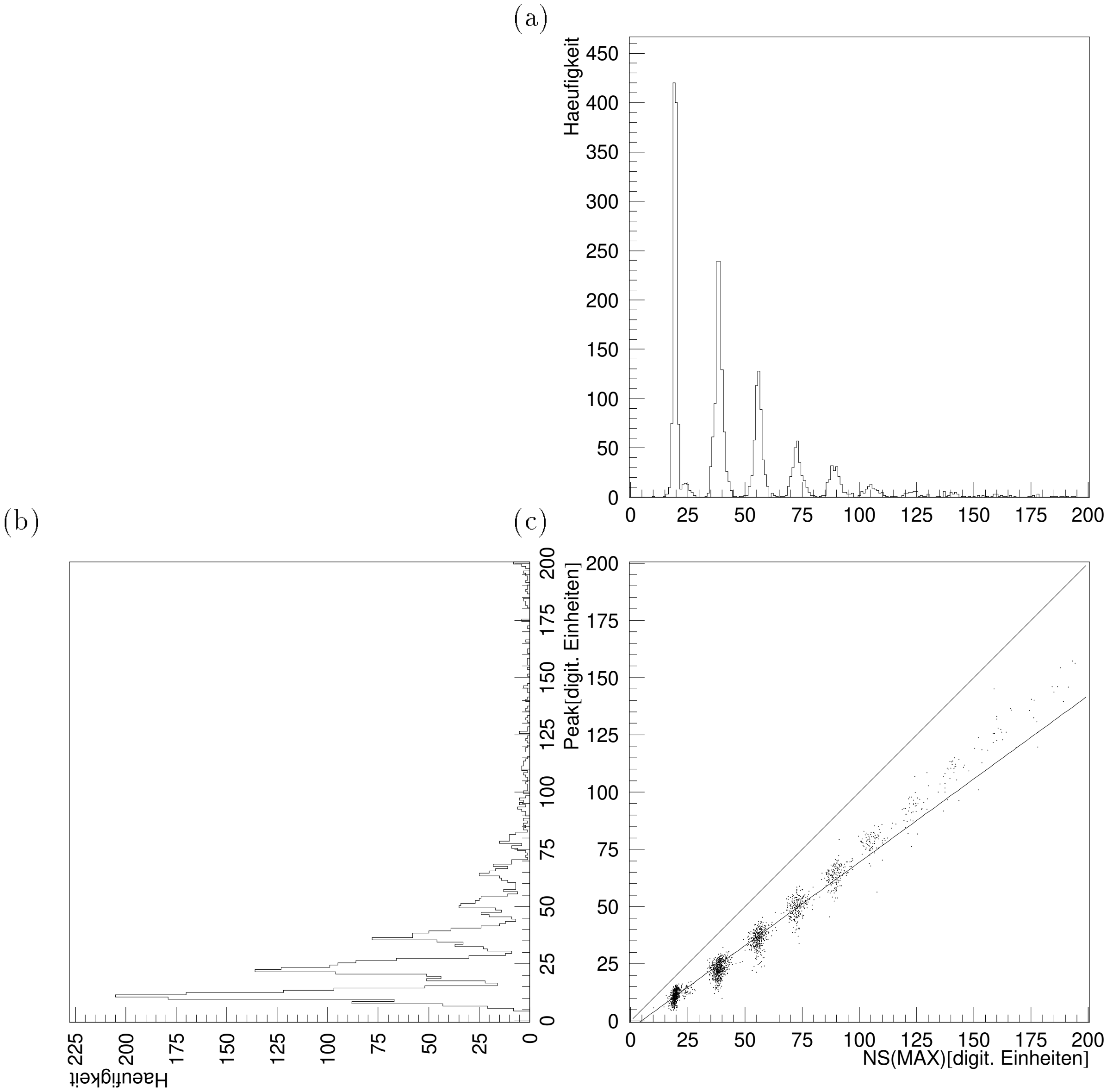

Abbildung 6.1: *Beziehung zwischen Nachbarsummen und Peak-Detektor-Ausgang und deren Projektionen.*

Vorgehensweise bei der Simulation

Die Simulation des RZ-Triggers benutzt die Daten des Peak-Detektors und der Z-Vertexhistogramme in ihrem zeitlichen Auftreten aus der TZTN-BOS-Bank. Aus den Z-Vertexhistogrammen werden durch Addition der Bininhalte eines Bins und seines rechten Nachbarn die Nachbarsummen NS_i der Nachbarsummenhistogramme gebildet. Von jedem Nachbarsummenhistogramm wird der höchste Eintrag $NS(\mathrm{MAX}) = \sup(NS_i)$ gesucht und mit dem zeitlich zugehörigen Wert des Peak-Detektors verglichen.

In Abbildung 6.1(c) ist die Beziehung zwischen Nachbarsummen und Peak-Detektor-Ausgang jeweils in digitalen Einheiten dargestellt. Man sieht, daß eine Clusterbildung, die eine Klassifikation in Prongs zuläßt, vorhanden ist. An der Abzisse, bzw. deren

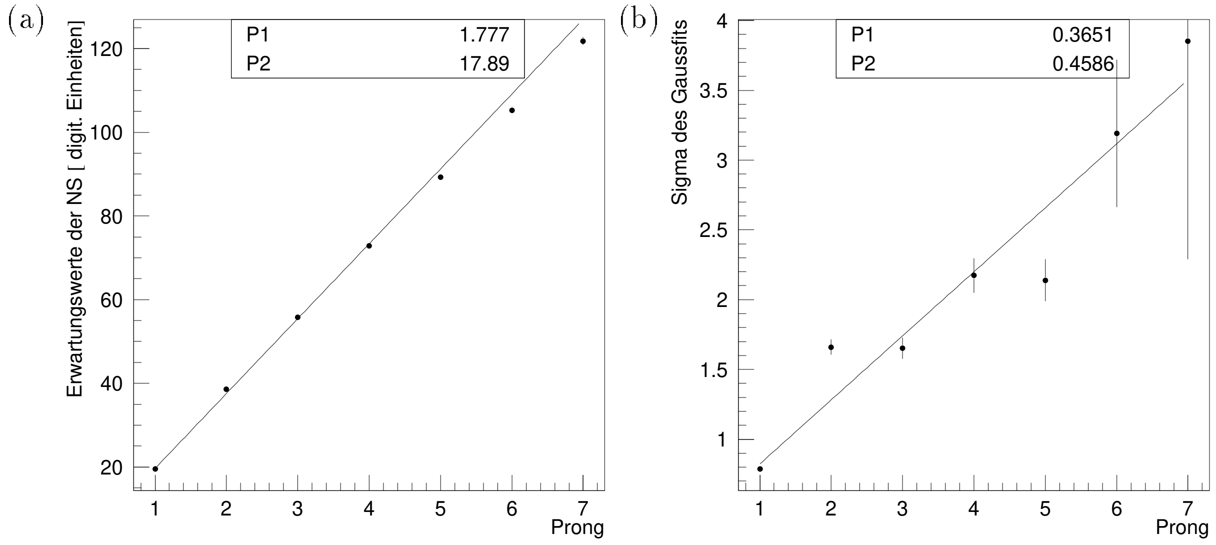

Abbildung 6.2: *Lineare Anpassung an die Erwartungswerte der Gaussanpassungen für (a) die Nachbarsummen und (b) die Peaks*

Projektion (siehe Abbildung 6.1(a)), erkennt man die gleiche Klassifikation, die auch schon beim Z-Vertexhistogramm ermittelt wurde. Wie bei der Untersuchung des Z-Vertexhistogramms werden auch hier Gaussanpassungen vorgenommen und deren Erwartungswerte linear angepaßt. Man erhält als Anpassung, die in Abbildung 6.2(a) zu sehen ist:

$$NS = (1.777 \pm 0.041) + (17.89 \pm 0.024) \cdot \mathrm{Prong}$$

Betrachtet man die Projektion der Ordinate (siehe Abbildung 6.1(b)) erkennt man, daß eine Klassifikation gut möglich ist. Die Clusterbildung in Abbildung 6.1(c) zeigt aber, daß damit keine eindeutige Trennung in Prongs möglich ist. Trotzdem wurden, wie bei den Nachbarsummen, die Anpassungsparameter einer linearen Anpassung an die Erwartungswerte der Gaussanpassungen bestimmt (siehe Abbildung 6.2(b)):

$$\mathrm{Peak} = (-2.129 \pm 0.113) + (13.024 \pm 0.060) \cdot \mathrm{Prong}$$

Messungen mit einem Digitaloszilloskop im Labor mit nur der Histogrammkarte im RZ-Trigger-Überrahmen ergaben folgende Abhängigkeit des Peak-Detektor-Ausganges von der Pronghöhe [Nov94]:

$$\mathrm{Peak}_{HW} = -6.8 + 16.13 \cdot \mathrm{Prong}$$

Die Differenzen der Parameter zu den oben ermittelten, ergeben sich durch parasitäre Effekte auf den Bussystemen der Datenrückwand, sowie durch den Einfluß der im Betrieb hinzugekommenen Kombinations- und Inputkarten.

Weiterhin erkennt man bei genauem Hinsehen in Abbildung 6.2(b) an den erhaltenen Erwartungswerten der Peakhöhen einen Verlauf, der dem einer Diodenkennlinie gleicht und von den Dioden im Peak-Detektor hervorgerufen wird (siehe Abschnitt 4.3.2).

6.2.3 Ergebnisse der Untersuchung

Bestimmung der Beziehung zwischen Nachbarsumme und Peak-Detektor-Ausgang

Um eine qualitative Aussage über die Beziehung zwischen Nachbarsumme und Peak-Detektor-Ausgang machen zu können, ist es notwendig, die Parameter der beiden linearen Anpassungen für die Nachbarsumme und den Peak-Detektor zu kombinieren.

Wenn die Parameter für die Nachbarsumme $NS = a + b \cdot \text{Prong}$ und für den Peak-Detektor $\text{Peak} = c + d \cdot \text{Prong}$ sind, erhält man für die Beziehung zwischen Peak-Detektor-Ausgang und Nachbarsumme:

$$\text{Peak} = c + \frac{d \cdot (NS - a)}{b} = (c - \frac{d \cdot a}{b}) + \frac{d}{b} \cdot NS \tag{6.1}$$

Mit den entsprechenden Werten der linearen Anpassungen ergibt sich:

$$\text{Peak} = (-3.422 \pm 0.138) + (0.728 \pm 0.003) \cdot NS \tag{6.2}$$

Wegen des relativ hohen ersten Terms, muß geprüft werden, welchen Einfluß man auf die Beziehungen der Schwellen und Signifikanzen, und damit möglicherweise auf den RAM-Trigger-Ausgang, hat.

Auswirkung auf den RZ-Trigger

Der Einfluß auf die Schwellen und Signifikanzen wird anhand der ermittelten Klassifikationen der Nachbarsumme und des Peaks geprüft. Da die Höhe der Nachbarsumme bzw. des Peaks sich, beschränkt auf eine Pronghöhe, in einem gewissen Bereich bewegt, können die Grenzen der Klassifikationsbereiche mit Hilfe der Klassifikationsgleichungen in kontinuierliche Pronghöhen umgerechnet werden, die dann einen Bereich für Schwellen, bzw. Signifikanzen, bezüglich eines diskreten Prongs festlegen.

Aus den beiden Projektionen liest man für den Peak-Klassifikationsbereich der Ein-Prongs 5 - 18 digit. Einheiten aus und berechnet daraus mit Gleichung 6.2 einen kontinuierlichen Peakbereich von 0.55 bis 1.22 Prongs. Für den Nachbarsummen-Klassifikationsbereich (15 - 30 digit. Einheiten) erhält man mit Gleichung 6.1 einen kontinuierlichen Nachbarsummenbereich von 0.74 bis 1.58 Prongs. Daraus errechnet sich ein Schwellenbereich von 0.733 bis 1.432 und ein Signifikanzbereich von 0.724 bis 1.546. Betrachtet man die bestimmten Schwellen- und Signifikanzbereiche bis zu Fünf-Prongs (siehe Abbildung 6.3), erkennt man, daß mit zunehmender Pronghöhe die Bereiche weiter auseinander liegen. Das hat zur Folge, daß schon bei geringen Pronghöhen unbestimmte Effekte auftreten. So können zum Beispiel Signifikanzen von

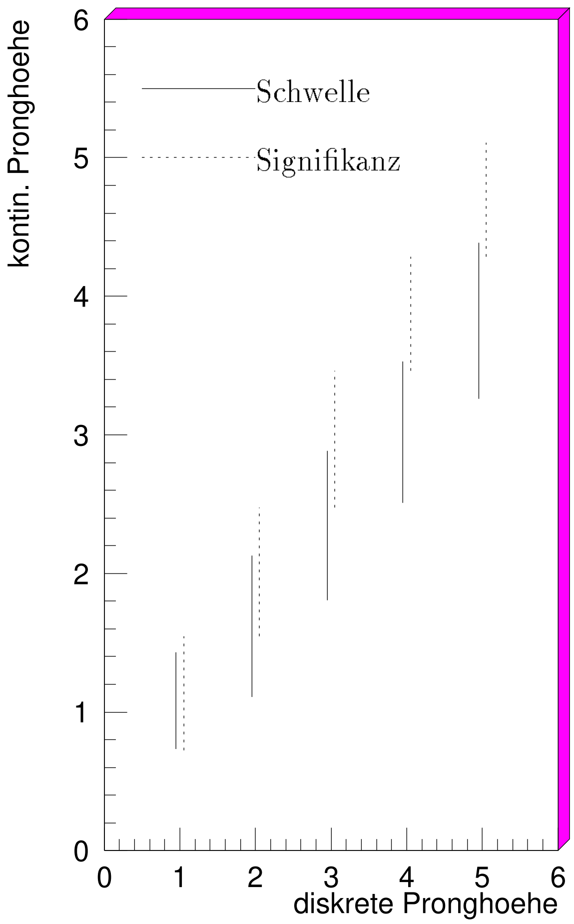

Abbildung 6.3: *Auswirkung auf die Schwelle und die Signifikanzen*

Ein-Prongs die von Zwei-Prongs generierte Schwelle überschreiten, und damit einen falschen RAM-Trigger-Ausgang bewirken. Dieser Effekt verstärkt sich mit zunehmender Pronghöhe, so daß der Bereich der Signifikanzen von Drei-Prongs komplett den Bereich der Vier-Prong-Schwellen abdeckt. Man kann also davon ausgehen, daß die meisten Drei-Prongs auch die von Vier-Prongs generierte Schwelle und zum Teil auch noch die von Fünf-Prongs generierte Schwelle überschreiten. Daraus ist zu folgern, daß die technische Realisierung des RAM-Triggers nur unvollkommen die von der Physik vorgegebene Funktion erfüllt.

6.2.4 Vergleich der Triggerelemente des RZ-Triggers mit anderen Triggerelementen

Eine Untersuchung der Triggerelemente des RZ-Triggers kann nur unter Vorbehalt erfolgen, da die Driftzeit in der Driftkammer CIZ nicht an die Kombinationsmasken angepaßt war. Daher wurde nur eine Untersuchung der Häufigkeit des Auftretens der Triggerelemente vorgenommen. Der RAM-Trigger-Ausgang wird nicht untersucht, da die Funktion des RAM-Triggers nicht in gewünschter Weise erfolgt. Eine Effizienzbestimmung für Zwei-Prongs geschieht nur, um eine nach unten abschätzbare Grenze zu erhalten. Bevor die Triggerelemente untersucht werden können, muß geprüft werden,

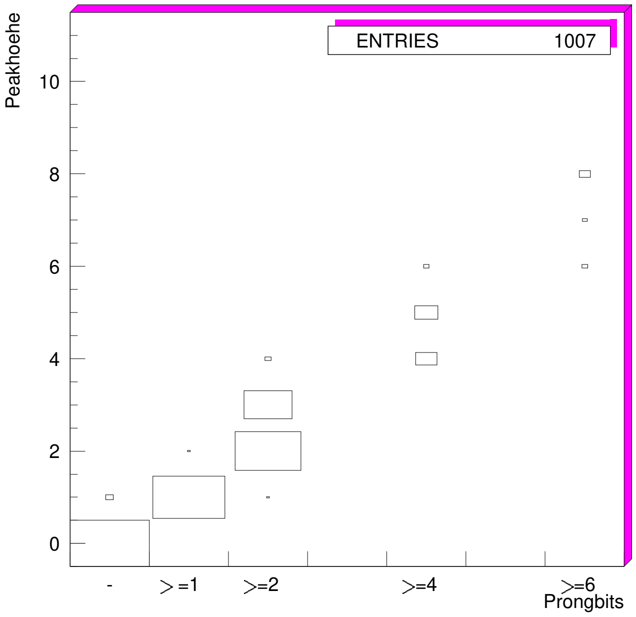

Abbildung 6.4: *Beziehung zwischen Prongbits und Peak*

ob die Prongbits auch die Z-Vertexhistogramm-Information über den höchsten Eintrag richtig widerspiegeln.

Untersuchung der Prongbits

Da zur Zeit der für diese Untersuchungen genommenen Daten die Verzögerung für die Triggerelemente des RZ-Triggers noch nicht korrekt eingestellt war (siehe Abschnitt 5.3.4), ist es erforderlich zu bestimmen, ob die Prongbits, die dem Ereignis-t_0 zugeordnete werden, in ausreichender Genauigkeit dem Z-Vertexhistogramm, welches zur Zeit $t = t(\text{L2keep}) - 6$ entsteht, entsprechen. Dazu wird das Trigger-Histogramm aus den TZTN-BOS-Bänken benutzt und daraus das Nachbarsummenhistogramm simuliert, von dem der höchste Eintrag gesucht wird, und in eine Pronghöhe als Peak klassifiziert. Dieser Peak wird mit den Prongbits des RZ-Triggers verglichen. Das höchste erhaltene Prongbit wird zusammen mit dem Peak histogrammiert (siehe Abbildung 6.4). Man sieht eine sehr gute Übereinstimmung zwischen dem Peak und dem entsprechenden Prongbit, d.h. daß das Prongbit Peak ≥ 2 auch hauptsächlich Peaks aus Zwei- und Drei-Prongs enthält. Die kleineren Abweichungen resultieren einerseits von der fehlenden Verzögerung der Triggerelemente im CTC und andererseits durch falsche Klassifizierung vom Peakdetektor (siehe Abschnitt 6.2.3). Sie beinträchtigen die weiteren Untersuchungen aber nicht wesentlich.

Häufigkeitsuntersuchung der Prongbits

Aufgrund der Änderung der Driftzeit in der Driftkammer CIZ und somit falschen Kombinationsmasken sind Zwei-Prongs, die von zwei Teilchenspuren des selben Ursprungs

Prongbit	Anzahl	Anzahl TE24	proz. Anteil
≥ 1	3622	3540	97.8%
≥ 2	2910	2874	98.7%
≥ 4	1110	1103	99.4%
≥ 6	395	394	99.7%

Tabelle 6.1: *Häufigkeiten des Triggerelements zVtx_T0 gegenüber den Prongbits bei Physikereignissen.*

	Von 4040 TE24 waren:			
Prongbit	ohne BG	proz. Anteil	mit BG	ges. proz. Anteil
≥ 1	2990	74.0%	550	87.6%
≥ 2	2362	58.5%	512	71.2%
≥ 4	792	19.6%	311	27.3%
≥ 6	203	5.0%	191	9.8%

Tabelle 6.2: *Häufigkeiten der Prongbits gegenüber Triggerelement zVtx_T0 bei Physikereignissen*

stammen eher zufällig. Daher sind Aussagen über die Güte der Physikerkennung mit den Prongbits nicht möglich. Aussagen über das Ein-Prongbit sind nicht sinnvoll, da eine zufällige Kombination von Spursegmenten schnell geschieht, z.B. auch durch Spiegelspuren von Untergrundspursegmenten. Daher beschränken sich die gemachten Aussagen auf Häufigkeitsaussagen, um erstmals die zu erwartende Größenordnung der Rate der Prongbits zu erhalten.

Die Untersuchung erfolgt bezüglich des Triggerelements TE24 = zVtx_T0, das aktiv wird, wenn mindestens eine Spur, die vom Vertexbereich stammt, gefunden wird und legt damit auch das Ereignis-t_0 fest.

Als physikalisch interressant eingestuft wurden Ereignisse, die rekonstruiert und in sogenannten DST-Datensätzen gespeichert wurden. Davon wurden 5459 Ereignisse betrachtet. Eine Gegenüberstellung der auftretenden Häufigkeiten der Prongbits und des Triggerelements TE24 ist in Tabelle 6.1 wiedergegeben.

Man erkennt, daß im Fall eines aktiven Prongbits auch das TE24 aktiv ist. Um eine eindeutige Aussage über die Rate machen zu können ist eine gegenüberstellende Untersuchung nötig, d.h. es muß geprüft werden, wie häufig die Prongbits im Falle des aktiven TE24 ansprechen. Da beim RZ-Trigger eine zusätzliche Untergrunderkennung durch das Untergrundbit BG ([Nit94]) vorhanden ist, findet die Untersuchung unter Berücksichtigung der Untergrunderkennung statt. Von 4040 untersuchten Ereignissen bei denen TE24 aktiv war, waren die in Tabelle 6.2 aufgelisteten Prongbits aktiv.

Prongbit	Anzahl	Anzahl TE24	proz. Anteil
≥ 1	858	836	97.4%
≥ 2	741	723	97.6%
≥ 4	474	470	99.2%
≥ 6	373	373	100%

Tabelle 6.3: *Häufigkeiten des Triggerelements zVtx_T0 gegenüber den Prongbits bei Untergrundereignissen*

	Von 997 TE24 waren:			
Prongbit	ohne BG	proz. Anteil	mit BG	ges. proz. Anteil
≥ 1	237	23.8%	599	83.9%
≥ 2	153	15.3%	570	72.5%
≥ 4	25	2.5%	445	47.1%
≥ 6	5	0.5%	368	37.4%

Tabelle 6.4: *Häufigkeiten der Prongbits gegenüber Triggerelement zVtx_T0 bei Untergrundereignissen*

Man erkennt, daß das Ein-Prongbit mit etwa der gleichen Rate wie das TE24 auftritt. Höherwertige Prongbits reduzieren ihre Rate, wenn man den Untergrund berücksichitgt, bis auf 5% der Rate von TE24 im Falle physikalisch interressanter Ereignisse. Es bleibt in der gleichen Art zu untersuchen, wie sich die Rate bei Untergrundereignissen verhält. Dazu wurden 1141 Ereignisse untersucht, die von der vierten Triggerstufe verworfen wurden. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 6.3 und 6.4 zusammen gefaßt.

Man sieht wiederum, daß in nahezu allen Fällen, in denen die Prongbits aktiv waren, auch das TE24 aktiv war. Im umgekehrten Fall erkennt man allerdings, unter Berücksichtigung des Untergrundbits, eine viel größere Reduktion der Rate des TE24 schon bei Ein-Prongs als bei den Physikereignissen. Zwei der fünf von dem Sechs-Prong-Bit erkannten Ereignisse sind in Abbildung 6.5 zu sehen.

Anhand der Raten der Prongbits kann man erwarten, daß die höherwertigen Prongbits in Verbindung mit dem Untergrundbit und anderen Triggerelementen einen wertvollen Beitrag zu den Subtriggern des CTC liefern können.

Effizienzbestimmung für Zwei-Prongs

Die Effizienzbestimmung für Zwei-Prongs ist aufgrund der Änderung der Driftzeit in der CIZ und der fehlenden Verzögerung im CTC (siehe oben) nicht aussagekräftig. Sie wird aber trotzdem gemacht, um eine untere Grenze zu erhalten. Das heißt bei

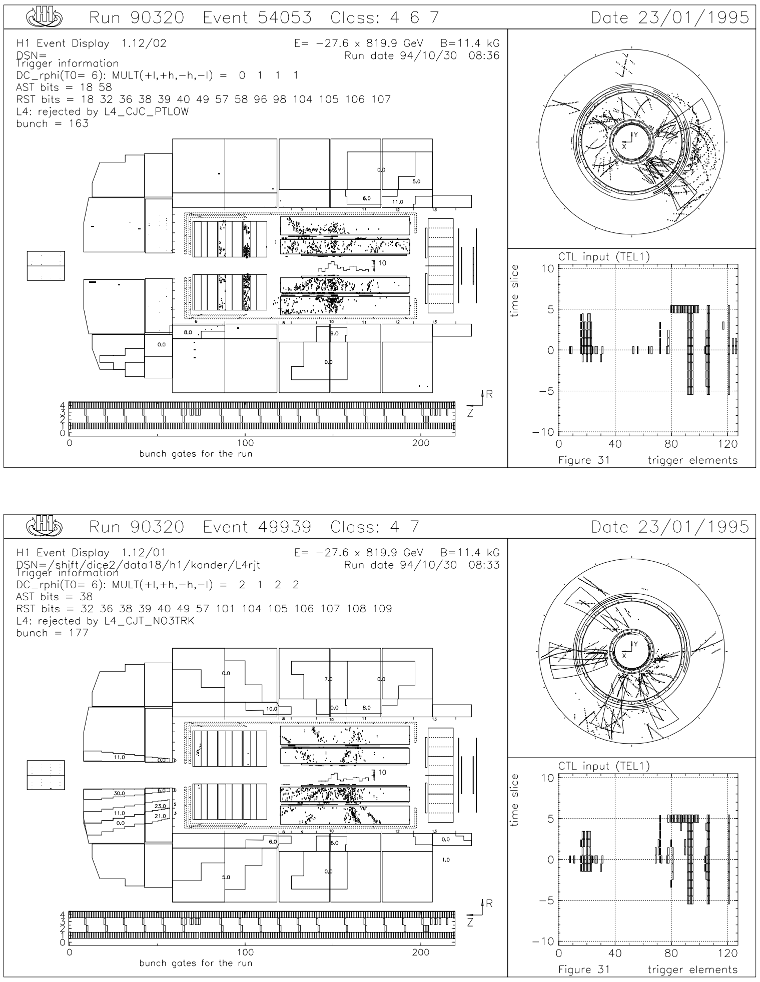

Abbildung 6.5: *Vom Sechs-Prong-Bit erkannte Untergrundereignisse*

korrekt abgestimmten Kombinationsmasken wird eine bessere, als die hier bestimmte Zwei-Prong-Effizienz erwartet.

Die Effizienzbestimmung erfolgt im Vergleich mit Subtrigger 54. Subtrigger 54 setzt sich zusammen aus den Triggerelemten zVtx_Cls, DCRPh_TNeg und Topo_BR (siehe Abschnitt 3.1.1 und [Els94]). Das heißt damit werden Ereignisse, die genau zwei Teilchenspuren, die von dem selben Ursprung stammen und koplanar sind, erkannt. Von 183 untersuchten Physikereignissen, die durch Subtrigger 54 getriggert wurden, enthielten 114 als höchstes Prongbit Peak ≥ 1 und 48 als höchstes Prongbit Peak ≥ 2. Es wurden keine Ereignisse mit höherwertigen Prongbits gefunden.

Daraus erhält man eine

- Ein-Prong-Effizienz für zwei Teilchenspuren von: 62.3%
- Zwei-Prong-Effizienz für zwei Teilchenspuren von: 26.2%

Unter Berücksichtigung der falschen Driftzeit in der CIZ ist das ein gutes Ergebnis. Denn unter der Annahme bestmöglicher Kammereffizienzen für Spursegmente von 0.85

für COZ und 0.8 für CIZ erhält man eine Kombinationseffizienz für Ein-Prongs von 68% und eine zu erwartene Zwei-Prong-Efiizienz von 46%.

Kapitel 7

Zusammenfassung

7.1 Untersuchungen

Am Elektron-Proton-Speicherring HERA werden Elektronen und Protonen zur Kollision gebracht. An einem der vier Wechselwirkungspunkte ist das Experiment H1 aufgebaut. Durch Detektorelemente wie Kalorimeter und Driftkammern werden die Wechselwirkungsprodukte gemessen. Da neben den physikalisch interessanten Ereignissen auch Untergrundereignisse, z.B. durch Proton-Gas-Wechselwirkungen, auftreten, müssen diese erkannt und unterdrückt werden. Dazu sind Trigger notwendig. Einer der Trigger des H1-Triggersystems ist der RZ-Trigger. Seine Aufgabe ist die Erkennung physikalisch interessanter Ereignisse.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist der Teil des RZ-Triggers, der sich mit der Vertexfindung und daraus ableitbaren Triggerentscheidungen befaßt. Dabei sollte untersucht werden, wie sich der RZ-Trigger als komplettes System verhält, und ob er in der Lage ist, physikalisch interessante Ereignisse zu erkennen.

Die Vertexfindung erfolgt beim RZ-Trigger über Spurrekonstruktion aus den Daten von zwei Driftkammern mit guter Auflösung in Strahlrichtung, CIZ und COZ. Die Ursprungs-Z-Werte rekonstruierter Spuren füllen dabei ein Z-Vertexhistogramm, aus dem der Vertex gesucht wird und in Zusammenhang mit allen anderen verarbeiteten Eingangsdaten eine Triggerentscheidung gebildet wird.

Anfängliche Labortests zeigten, daß die Effizienz für Physikereignisse stark von der Vertexposition abhängt und die vom RZ-Trigger zu erwartenden erkannten Ereignisse zu einem großen Teil Untergrundereignisse beinhalten. Dazu tragen eine nicht ausreichend genaue Konstruktion des analogen Elektronikteils und nicht eingehaltene Toleranzen der elektrischen Bausteine bei.

Der RZ-Trigger wurde trotzdem am Experiment installiert, um möglichst viele seiner Eigenschaften im Betrieb zu testen und zu optimieren. Dazu wurden zunächst Schwellen für die Eingangsdaten eingestellt, um gute Effizienz bei möglichst kleinem Rauschen zu erhalten.

Da der RZ-Trigger ständig neue Daten erhält und aufgrund der aktuellen Daten seine Triggerentscheidung bildet, liegt nur in einem bestimmten Zeitintervall die zu einem Ereignis zugehörige richtige Entscheidung vor. Hauptaufgabe dieser Arbeit war es, dieses Zeitintervall zu bestimmen und an das vorhandene Triggersystem bei H1 anzupassen. Dabei trat das Problem auf, daß die Rekonstruktion der Teilchenspuren von der Driftgeschwindigkeit in den Driftkammern abhängt und an diese angepaßt sein muß. Da aber die Driftgeschwindigkeit in der CIZ kurz vor Beginn des HERA-Betriebs durch andere Gasfüllungen geändert wurde, mußte die Bestimmung des richtigen Zeitintervalls durch einen Vergleich mit der Simulation des RZ-Triggers aus den Driftkammerdaten erfolgen. Das optimale Zeitintervall der Gültigkeit der Triggerdaten wurde auf $\sim$ 5ns genau bestimmt.

Dann konnten die Triggerelemente, die sich aus dem hier untersuchten Teil des RZ-Triggers ergeben, untersucht werden. Dazu gehören:

- Die Triggerentscheidung, die physikalisch interessante Ereignisse erkennt, genannt RAM-Trigger.
- Die Angabe des höchsten Eintrags im Z-Vertexhistogramm (*Peak*) gestaffelt in (*Prongbits*):
  - Peak ≥ 1
  - Peak ≥ 2
  - Peak ≥ 4
  - Peak ≥ 6

Aufgrund der Streuungen der den Trigger bestimmenden Pulshöhen konnten Abschätzungen für die zu erwartende Triggerfunktion geliefert werden. Der Vergleich des RAM-Triggers mit dem Vertexhistogramm ergab, daß in nur 20% der Fälle , in denen der RAM-Trigger ansprechen sollte, auch tatsächlich das Triggerelement gesetzt war. Die Ursache dafür konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr geklärt werden.

In dieser Arbeit wurde nur eine Untersuchung der Häufigkeit des Auftretens der Prongbits vorgenommen, da aufgrund der geänderten Driftgeschwindigkeit in der Driftkammer CIZ keine korrekte Spurrekonstruktion stattfinden konnte. Dadurch erhielt man erstmals einen Hinweis auf die Größenordnung, mit der man später rechnen muß. Dabei wurde herausgefunden, daß die höherwertigen Prongbits in Verbindung mit anderen Triggern des H1-Triggersystems zur Erkennung von Physikereignissen dienen können.

Eine Effizienzbestimmung für Ereignisse mit genau zwei erkannten Teilchenspuren wurde vorgenommen, um eine untere Effizienzgrenze zu erhalten. Dabei machte sich die geänderte Driftzeit besonders nachteilig bemerkbar.

7.2 Ausblick

Für das Jahr 1995 wird die Spurrekonstruktion an die Driftgeschwindigkeit angepaßt sein. Dann kann eine korrekte Spurrekonstruktion stattfinden, und man erwartet eine 10 prozentige Verbesserung der erhaltenen Effizienz für Ereignisse mit zwei Spuren.

Eine Alternative zum RAM-Trigger, der nicht die erwarteten Ergebnisse gebracht hat, ist der Einsatz eines Neuronalen Netzes, integriert auf einem sehr schnellen elektronischen Baustein. Das Neuronale Netz kann seine Entscheidung durch Mustererkennung, aufbauend auf dem Z-Vertexhistogramm, bilden. Der größte Teil der Elektronik, der der Spurrekonstruktion dient, würde damit erhalten bleiben. Untersuchungen in dieser Richtung ergaben, daß ca. 85% der von der vierten Triggerstufe als Physik erkannten Ereignisse richtig erkannt wurden, wobei ca. 50% der von der vierten Triggerstufe verworfenen Ereignisse auch vom Neuronalen Netz verworfen wurden[SST95].

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

[Blo87] V. Blobel
The BOS System - Dynamic Memory Management
Universität Hamburg, 1987

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

[CAL93] H1 Calorimeter Group
The H1-Liquid Argon Calorimeter System
DESY 93-078 (Juni 1993)

[Els93] E.Elsen
The H1 Trigger and Data Acquisition System
DESY 93-262

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

[FIC87] Creative Electronic Systems
Fast Intelligent Controller, FIC 8230, User's Manual
Schweiz (1987)

[Fra94] G.Franke
RZ-Trigger Konfigurations- und Steuerprogramm
FH1T 1992-1994

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

[HER87] R.D.Peccei
Proceedings of the HERA Workshop, Vol. 1
DESY (Oktober 1987)

[HJB94a] H.-J. Behrend
Programm zur Simulation des RZ-Triggers mit Driftkammerdaten
DESY FH1T (1994)

[HJB94b] H.-J. Behrend
Programm zur Simulation des RZ-Triggers mit RZ-Triggerdaten
DESY FH1T (1994)

[HJB95] H.-J. Behrend
Persönliche Mitteilung
DESY FH1T (1995)

[Kla94] H.Klär
Testkonfiguration für die Kombinationskarten
DESY FH1T (1994)

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

[Nit94] D. Nitsch
Untersuchungen am RZ-Trigger bei H1 DESY FH1T (1994)
Diplomarbeit, Hamburg (1994)

[Nov94] T. Novak
Persönliche Mitteillung von Thomas Novak
DESY (November 1994)

[NuR92] W. H. Press
Numerical Recipes in Fortran
Cambridge University Press

[Per91] D. H. Perkins
Hochenergie Physik
Verlag Addison-Wesley (1991,)

[Pro94] R. Prosi
Pedestrians 's guide to the L4 filter farm
DESY 94-412

[REC94] H1 Collaboration
H1REC-Reconstruktion modules
DESY (1994)

[Rib93] P. Ribarics
L2-L3 background rejector based on the encapsulation of background clusters
DESY 93-310

[Rie95] J. Riedlberger
The H1 Trigger with Emphsis on Tracking Triggers
DESY 95-419

[Sef94] F. Sefkow
Experience with the first level trigger of H1
DESY 94-407

[SST95] G. Schmidt, S. Schiek, T. T. Tong
Persönliche Mitteilung von Guido Schmidt
DESY (Januar 1995)

[Tur94] M. Turiot
Implementation of the L3 trigger in H1
DESY 94-382

[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 Korrektur, sowie der Erstellung des Gutachtens,
- Frau Prof. Naroska für die Erstellung des Zweitgutachtens,
- Herrn Dr. Behrend für die interessante Aufgabenstellung und engagierte Betreuung der Arbeit,
- Thomas Novak für die sehr gute Zusammenarbeit in elektronischen Fragen,
- Herrn Dr. Franke für die hilfreichen Tips bei den Untersuchungen,
- Guido Schmidt und Stephan Schiek für die vielen hilfreichen Diskussionen, sowie die Hilfe beim Korrekturlesen.
- Daniel Nitsch für die sehr gute Zusammenarbeit am RZ-Trigger,
- den Herren aus dem Elektroniklabor für die freundliche Unterstützung
- 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