

Interner Bericht
DESY FH1T-90-04
November 1990

Aufbau und Test eines Driftkammer-Spurtriggers für die zentrale Spurenkammer des H1-Detektors

von

A. Gellrich

Eigentum der	DESY	Bibliothek
Property of		library
Zugang:		
Anschaffung:	07. DEZ. 1990	
Leihfrist:	7	Tage
Loan period:	7	days

DESY behält sich alle Rechte für den Fall der Schutzrechtserteilung und für die wirtschaftliche Verwertung der in diesem Bericht enthaltenen Informationen vor.

DESY reserves all rights for commercial use of information included in this report, especially in case of filing application for or grant of patents.

**“Die Verantwortung für den Inhalt dieses
Internen Berichtes liegt ausschließlich beim Verfasser“**

Aufbau und Test
eines
Driftkammer-Spurtriggers
für die
zentrale Spurenkammer
des
H1-Detektors

ANDREAS GELLRICH

Experimental-physikalische Diplomarbeit
am
II. Institut für Experimentalphysik
der
Universität Hamburg

24. Oktober 1990

Abstract

This report describes the planning, the building and the testing of a trigger system for the central jet chamber (CJC) of the H 1-experiment at HERA. The purpose of the system is to provide a single particle trigger in the test phase of the H 1-experiment based on the signals of the CJC only.

A trigger signal is generated for cosmic ray tracks crossing the vertex region similar to tracks of the ep-interactions at HERA. The track definition is provided by a coincidence of a number of signals (majority) belonging to the sense wires of adjacent cells. Due to the delayed occurrence of the signals (finite drift velocity) they have to be expanded to the maximal drift time of around $1\mu s$.

Since the CJC was not available for testing the trigger, the drift chamber trigger electronics was adapted first to the conditions of a full-size-prototype (FSP) of the CJC. In test runs with cosmic radiation the adjustable parameters for track definition and noise suppression were optimized. The important performance quantities were measured: The trigger efficiency using a scintillator trigger system as a reference was $(98.5 \pm 2.2)\%$. From a scan $(92 \pm 10)\%$ of the triggered events were determined to have reconstructable tracks. The trigger rate for cosmic rays was $62 Hz$. As a result of this work a concept for a CJC-trigger electronics was developed.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
1 Das Rahmenprojekt HERA und der H 1-Detektor	5
1.1 Der Speicherring HERA und seine Physik	5
1.1.1 HERA	5
1.1.2 Die Physik mit HERA	7
1.2 Der H 1-Detektor	10
1.3 Die zentrale Spurenkammer des H 1-Detektors	12
1.3.1 Das Funktionsprinzip einer Driftkammer	12
1.3.2 Der Aufbau der zentralen Spurenkammer	13
1.3.3 Der Full-Size-Prototyp der zentralen Spurenkammer	16
1.4 Das H 1-Triggerkonzept	17
1.5 Die Motivation der Arbeit	20
2 Das Konzept für den Spurtrigger	21
2.1 Die kosmische Höhenstrahlung	21
2.2 Der prinzipielle Aufbau	24
2.3 Die Simulation der Triggerlogik	29
2.4 Die Randbedingungen für den Aufbau	30
3 Der Bau des Spurtriggers	31
3.1 Die Spurtrigger-Elektronik	31
3.1.1 Abgriff und Aufbereitung der Signale	31
3.1.2 Die Triggerlogik	32
3.2 Der Teststand mit dem Full-Size-Prototypen	34
3.2.1 Der Aufbau des Teststandes	34
3.2.2 Das elektronische Auslese-System	34
3.2.3 Die Einbindung in das Auslese-System	36
4 Testmessungen und Auswertung	39
4.1 Das Meßprogramm	39
4.2 Die Auswertung der Meßergebnisse	41
4.2.1 Allgemeine Meßgrößen der Driftkammersignale	41
4.2.2 Die Diskriminatorschwelle	45

4.2.3	Die Ansprechwahrscheinlichkeit auf Spuren	50
4.2.4	Die Ausbeute an verwertbaren Spuren	55
4.3	Die Diskussion der Ergebnisse	58
5	Ausblick: Erweiterung des Spurtriggers für die CJC	60
5.1	Der Vergleich von FSP und CJC	60
5.2	Das Konzept für einen CJC-Spurtrigger	62
5.3	Die Realisierung eines CJC-Spurtriggers	62
5.3.1	Die Elektronik	62
5.3.2	Abschätzung von Aufwand und Kosten	63
	Zusammenfassung	64
A	Anhang: Die Auslese-Elektronik	65
A.1	Die Vorverstärker	65
A.2	Die Triggerout-Schaltung	67
B	Anhang: Die Triggerelektronik	69
B.1	Der Triggeradapter	69
B.2	Die Triggerlogik	74
C	Anhang: Der FSP-Teststand	79
C.1	Der Teststand	79
C.2	Das Szintillator-Triggersystem	81
D	Anhang: Die Driftkammersignale	85
	Literaturverzeichnis	87
	Danksagung	91

Einleitung

Die Motivation zur Durchführung von Hochenergie-Experimenten ist die Suche nach den Grundbausteinen der Materie. Im Verlaufe der Geschichte der Naturwissenschaften konnten Substrukturen von Teilchen nachgewiesen werden, die zur Zeit ihrer Entdeckung noch als elementar galten. Übrig blieben Quarks und Leptonen, aus denen alle bisher bekannten Teilchen aufgebaut sind.

Im Gegensatz zu den Leptonen kommen Quarks nur in gebundenen Zuständen (*Hadronen*) vor. Leptonen können deshalb als Sonden zur Untersuchung der Struktur solcher gebundenen Quark-Systeme verwendet werden.

Aus der Streuung von Elektronen an Protonen, die aus Quarks bestehen, wurden in zahlreichen Experimenten Rückschlüsse über die Verteilung der Quarks im Protonen (beschrieben durch die Strukturfunktionen) gezogen. Da für solche Untersuchungen aber immer sogenannte *Fixed Target*-Experimente¹ benutzt wurden, die aufgrund ihrer Kinematik ein begrenztes Auflösungsvermögen haben, ist dieses Gebiet auch weiterhin von besonderem Interesse.

Mit dem Speicherring **HERA**² bei **DESY** wird ab 1991 eine Maschine zur Verfügung stehen, mit der zum erstenmal Elektronen und Protonen in separaten Ringen gegenläufig gespeichert werden. Die im Schwerpunktsystem erreichbaren Energien werden etwa 10-mal höher sein als in den bisherigen *Fixed Target*-Experimenten. Dadurch wird genauer als je zuvor eine Untersuchung der Struktur des Protons möglich sein.

Als Nachweisgeräte sind zwei Großdetektoren (**H 1** und **ZEUS**) geplant, deren Aufgabe es sein wird, die Folgeprodukte der Elektron-Proton-Wechselwirkung zu untersuchen. Zur genauen Vermessung von Spuren geladener Teilchen besitzt der **H 1**-Detektor in seinem Zentralteil eine Driftkammer vom Jetkammer-Typ. Vor der Inbetriebnahme des kompletten **H 1**-Detektors an **HERA** muß die zentrale Spurenkammer unabhängig von den anderen Detektorkomponenten getestet und kalibriert werden. Als Teilchenquelle kann die kosmische Höhenstrahlung dienen, da sie ständig zur Verfügung steht. Für die Steuerung der Datennahme wird deshalb ein Triggersystem benötigt, das nur die Driftkammer-Signale selbst verwendet. Ein Triggersignal soll genau dann erzeugt werden, wenn ein Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung eine Spur hinterläßt, die den Bereich des Wechselwirkungspunktes des **H 1**-Detektors schneidet und damit der Topologie der Elektron-Proton-Ereignisse bei **HERA** entspricht.

¹Beschleunigte Elektronen werden auf ruhende Protonen geschossen.

²Hadron-Elektron-Ring-Anlage

Im Rahmen dieser Arbeit ist ein solcher Driftkammer-Spurtriggers entwickelt und getestet worden. Durch die logische Verknüpfung der Signale einzelner Drähte konnte eine Spur definiert werden. Dabei war insbesondere zu beachten, daß die Signale wegen der endlichen Driftgeschwindigkeit zeitlich verzögert entstehen.

Da die zentrale Spurenkammer noch nicht zur Verfügung stand, wurde der Spurtrigger zunächst für den **Full-Size-Prototypen**, einer Testkammer mit vergleichbaren Eigenschaften, aufgebaut (Kapitel 2 und 3) und getestet (Kapitel 4). Neben der Optimierung der einstellbaren Parameter der Elektronik zur Rauschunterdrückung und Spurdefinition, wurde die Ansprechwahrscheinlichkeit für Spuren und die Ausbeute an verwertbaren Spuren bestimmt. Aus den Erfahrungen beim Aufbau und den Ergebnissen der Testläufe wurde dann ein Konzept eines Spurtriggers für die zentrale Spurenkammer des **H 1-Detektors** entwickelt (Kapitel 5).

¹ Beschleunigte Elektronen werden mit relativistischen Protonen gekoppelt.
² Hadron-Elektron-Ring-Anlage

Kapitel 1

Das Rahmenprojekt HERA und der H 1-Detektor

1.1 Der Speicherring HERA und seine Physik

1.1.1 HERA

Beim Deutschen Elektronen Synchrotron (DESY) in Hamburg steht der Elektron-Proton-Speicherring HERA (Hadron-Elektron-Ring-Anlage) kurz vor seiner Fertigstellung. In einem 20m unter der Erde liegenden, 6.3km langen Ringtunnel sollen ab 1991 Elektronen und Protonen in zwei separaten Ringen beschleunigt und gespeichert werden. Als Vorbeschleuniger (*Injector*) dienen auf dem DESY-Gelände befindliche Beschleuniger, die für ihre neue Aufgabe modifiziert wurden (siehe Abbildung 1.1).

Mit einer maximalen Energie von 30GeV der Elektronen und 820GeV der Protonen soll eine Schwerpunktsenergie bis $\sqrt{s} = 314\text{GeV}$ erreichbar sein. Durch Impulsüberträge bis $Q^2 \leq 98400\text{GeV}^2/c^2$ wird ein völlig neuer kinematischer Bereich der Lepton-Hadron-Streuung erschlossen. Gegenüber früheren Experimenten mit festem Target (*Fixed Target*¹) sind die Q^2 -Werte 100 mal höher. Das Auflösungsvermögen für Substrukturen des Protons oder Elektrons wird bis zu 10^{-18}cm betragen und wird damit weit unterhalb der Größe des Protons liegen.

Um die geplante Luminosität² von $\mathcal{L} = 1.5 \cdot 10^{31}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ zu erreichen (Ereignisrate = 100 – 200pb⁻¹ pro Jahr), werden die HERA-Ringe mit 210 Teilchenpaketen (*bunches*) gefüllt, so daß sich an den vier möglichen Wechselwirkungspunkten alle 96ns Elektronen- und Protonenpakete treffen.

Eine besondere technische Herausforderung stellt die Beschleunigung der Protonen auf die genannte Energie dar. Um sie auf eine Kreisbahn mit einem Radius von 588m zu zwingen ist ein magnetisches Führungsfeld von 4.65T notwendig, das nur durch die Verwendung von supraleitenden Dipolmagneten erreicht werden kann. Diese werden deshalb mit flüssigem Helium auf 4.2K abgekühlt, das in einer speziellen Kühlanlage bei DESY produziert wird. Einige Daten des Speicherrings HERA zeigt Tabelle 1.1.

¹Um diese Schwerpunktsenergie zu erreichen, wäre eine Elektronen-Energie von 52TeV nötig.

²Teilchen pro Querschnittsfläche und Zeit

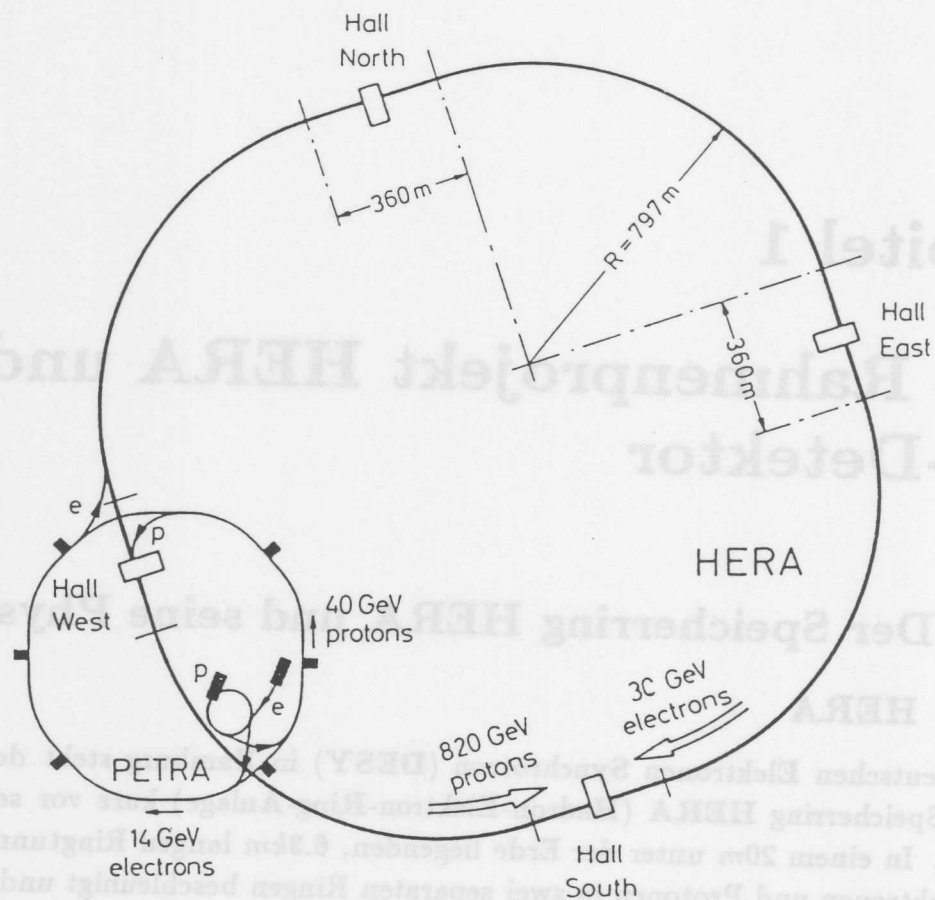


Abbildung 1.1: Injektionssystem des Speicherrings HERA (aus [WOL86])

Parameter	Einheit	Protonen	Elektronen
Energiebereich	[GeV]	300 – 820	10 – 30
Schwerpunktsenergie	[GeV]		≤ 314
Impulsübertrag	[GeV ² /c ²]		≤ 98400
Ringumfang	[m]	6336	6336
Krümmungsradius	[m]	588	608
Führungsfeld	[T]	4.65	0.165
Injektionsenergie	[GeV]	40	14
Umlaufstrom	[mA]	163	58
Teilchenzahl	[10 ¹³]	2.1	0.8
Teilchenpakete		210	210
Kreuzungsfrequenz	[MHz]		10
Energieverlust/Umlauf	[MeV]	$1.4 \cdot 10^{-10}$	127
Hochfrequenzleistung	[MW]	1	13.2

Tabelle 1.1: Einige Daten des Speicherrings HERA (aus [WOL86])

An zwei der vier Wechselwirkungszone werden zur Zeit Großdetektoren zur Untersuchung der ep -Wechselwirkung installiert. In der Halle Süd befindet sich der **ZEUS**-Detektor.

In der Halle Nord steht der **H1**-Detektor, der durch seine feine Segmentierung für die Vermessung einzelner Spuren (*exklusive* Messung von Ereignissen) optimiert ist (siehe Kapitel 1.2).

Für die zweite Ausbaustufe ist die Erzeugung von longitudinal-polarisierten Elektronen geplant. Erste Versuche sollen in der Halle Ost durchgeführt werden.

1.1.2 Die Physik mit HERA

Das *Standardmodell* beschreibt alle uns bekannten physikalischen Prozesse, mit Ausnahme der Gravitation, durch 3 fundamentale Wechselwirkungen zwischen 6 Quarks und 6 Leptonen. Die Wechselwirkungen werden durch lokale Eichtheorien der Eichgruppen $SU_{3c} \otimes SU_2 \otimes U_1$ beschrieben, wobei SU_{3c} für die starke Wechselwirkung und $SU_2 \otimes U_1$ für die vereinigte elektroschwache Wechselwirkung stehen.

Einige entscheidende Vorhersagen dieses Modells konnten insbesondere durch die Experimente am e^+e^- -Speicherring LEP bei CERN mit einer größeren Genauigkeit als je zuvor bestätigt werden. Besonders hervorzuheben ist die Bestimmung der Masse des neutralen Austauschteilchens der schwachen Wechselwirkung Z^0 aus der Vermessung seiner Resonanz. Aus der Breite der Resonanz ließ sich die Zahl der *Familien* mit leichten Neutrinos zu 3 bestimmen. Trotz dieser großen Erfolge verbleiben wichtige Fragen unbeantwortet, zu deren Klärung **HERA** beitragen kann (siehe [WOL86] und [PEC87]):

- Das *Standardmodell* sagt eine Q^2 -Abhängigkeit der Proton-Strukturfunktion voraus. Mit **HERA** kann sie über einen großen Energiebereich untersucht werden.
- Weder das für Erklärung der Massen notwendige *Higgs*-Teilchen, noch das *Top*-Quark konnten bisher nachgewiesen werden.
- Es gibt eine Vielzahl von freien Parametern, für deren Zustandekommen es noch keine Erklärung gibt.
- Über das *Standardmodell* hinaus kann die Suche nach exotischen Teilchen mit Massen bis zu 200GeV mit nichtzuvernachlässigbaren Raten erfolgen (Leptoquarks, angeregte Quarks und Leptonen, Squarks, Sleptons).

Die tiefinelastische Elektron-Proton-Streuung bei **HERA** kann als elastische Streuung der Elektronen an quasi-freien Quarks (*Stromquark*) angesehen werden. Die anderen Quarks der Protonen nehmen nicht an der Wechselwirkung teil (*Zuschauerquarks*). Die Wechselwirkung wird durch den Austausch von *Eichbosonen* vermittelt. Je nach Austauschteilchen wird zwischen neutralen Strömen (*Neutral Current, NC*) und geladenen Strömen (*Charged Current, CC*) unterschieden. Die Prozesse niedrigster Ordnung und ihre Topologie zeigen die Abbildungen 1.2 und 1.3. Die Jets der *Zuschauerquarks* verschwinden im Strahlrohr und können nicht vermessen werden. Die Rekonstruktion

der Ereignisse muß deshalb über die inklusive Messung des *Stromjets* und bei NC-Ereignissen über die exklusive Messung der Elektronenspür erfolgen. Das bei CC-Ereignissen auftretende Neutrino kann nicht nachgewiesen werden und muß aus der Impulsbilanz rekonstruiert werden.

Ein weiterer, häufig auftretender Prozeß ist die Fusion eines Austausch-Photons γ mit einem vom *Stromquark* abgestrahlten Gluon. Dieser Prozeß führt zur Entstehung schwerer Quarks und erlaubt die Suche nach neuen Teilchen (siehe Abbildung 1.4).

Mit der für die zweite Ausbauphase von **HERA** geplanten Erzeugung von longitudinal polarisierten Elektronen kann nach rechtshändigen Strömen gesucht werden.

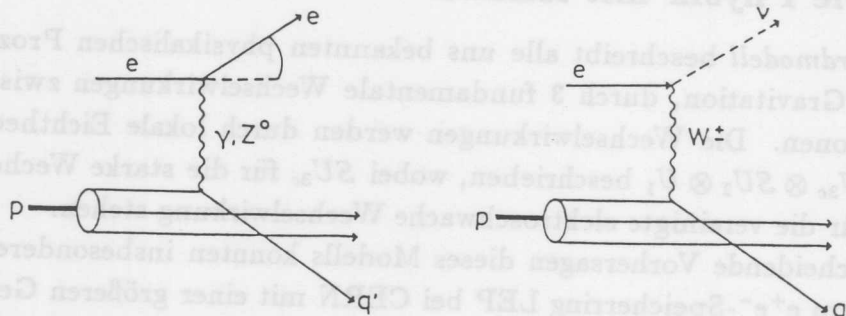


Abbildung 1.2: Dominante Prozesse niedrigster Ordnung (aus [WOL86])

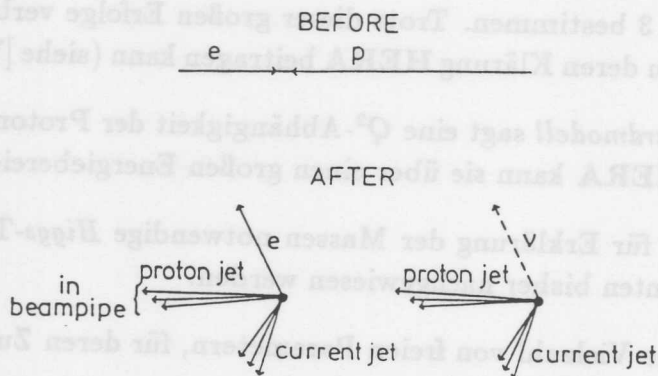


Abbildung 1.3: Topologie der dominanten Prozesse (aus [WOL86])

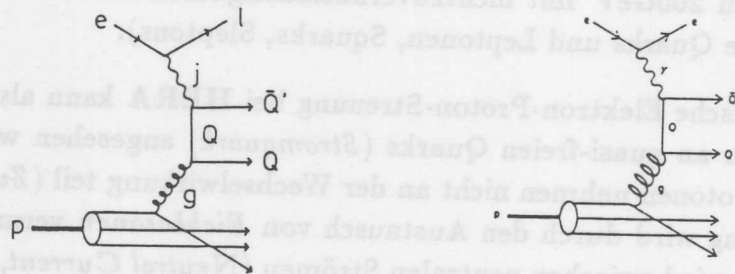
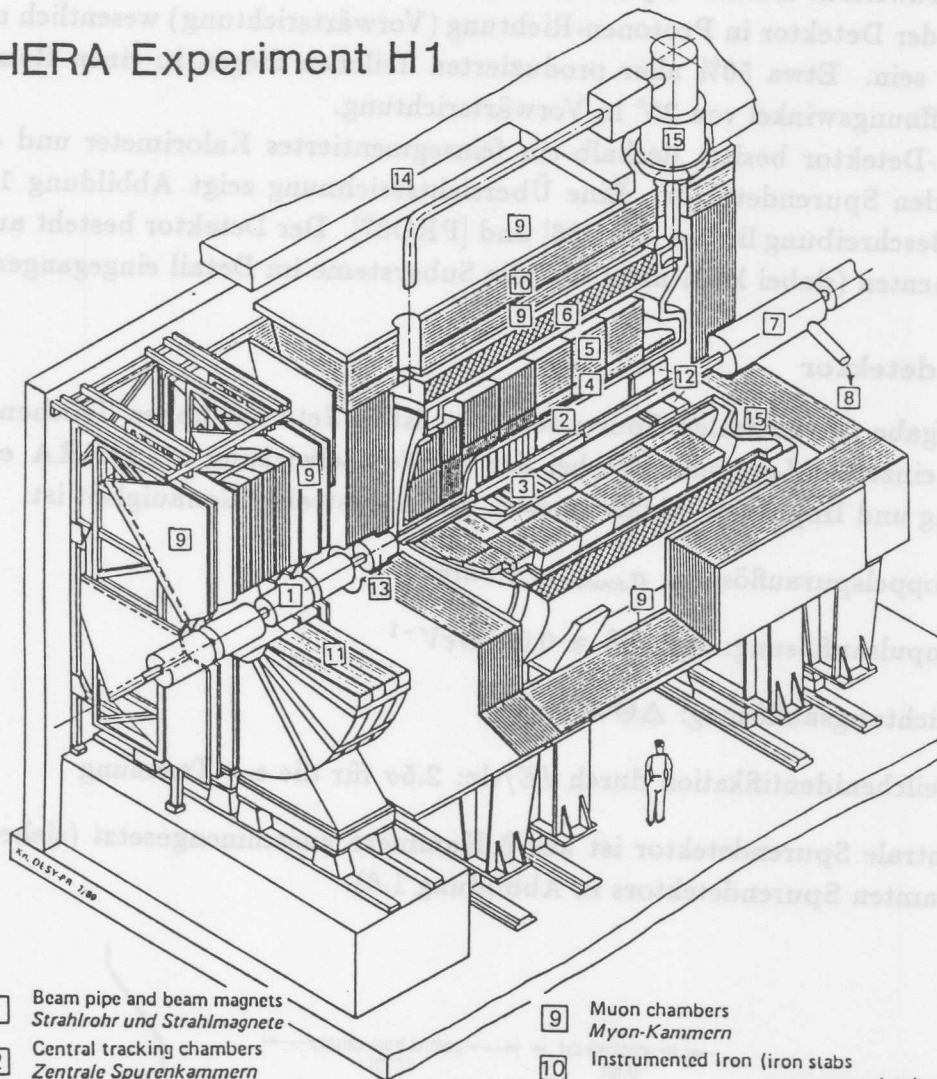


Abbildung 1.4: Erzeugung schwerer Quarks durch Photon-Gluon-Fusion (aus [WOL86])

HERA Experiment H1



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

Abbildung 1.5: Der H1-Detektor (aus [H1C88])

1.2 Der H1-Detektor

Die Topologie der Prozesse bei **HERA** erfordert einen Detektor, der in der Lage ist, Teilchenjets in Richtung und Energiefluß genau zu vermessen und einzelne Leptonen exakt nachzuweisen. Da der Impuls der Protonen wesentlich größer als der der Elektronen ist, muß der Detektor in Protonen-Richtung (Vorwärtsrichtung) wesentlich aufwendiger bestückt sein. Etwa 50% aller produzierten Teilchen fliegen in einen Raumkegel mit einem Öffnungswinkel von 25° in Vorwärtsrichtung.

Der **H1**-Detektor besitzt deshalb ein feinsegmentiertes Kalorimeter und einen hochauflösenden Spurendetektor. Eine Übersichtszeichnung zeigt Abbildung 1.5; eine genauere Beschreibung liefern [PRO86] und [PRO87]. Der Detektor besteht aus folgenden Komponenten (dabei kann nicht auf alle Subsysteme im Detail eingegangen werden):

Spurendetektor

Die Aufgabe des zentralen Spurendetektors ist es Jets mit hohen Teilchendichten und Spuren einzelner Leptonen, die bei der ep-Wechselwirkung bei **HERA** entstehen, in Richtung und Impuls zu rekonstruieren. Die angestrebte Genauigkeit ist:

- Doppelspurauflösung: $\sigma_{double} \approx 2.5mm$
- Impulsauflösung: $\Delta p_{\perp}/p_{\perp}^2 \approx 0.003 GeV^{-1}$
- Richtungauflösung: $\Delta\Theta \approx 1mrad$
- Teilchenidentifikation durch dE/dx : 2.5σ für die $e-\pi$ -Trennung

Der zentrale Spurendetektor ist aus 6 Kammern zusammengesetzt (siehe Querschnitt des gesamten Spurendetektors in Abbildung 1.6).

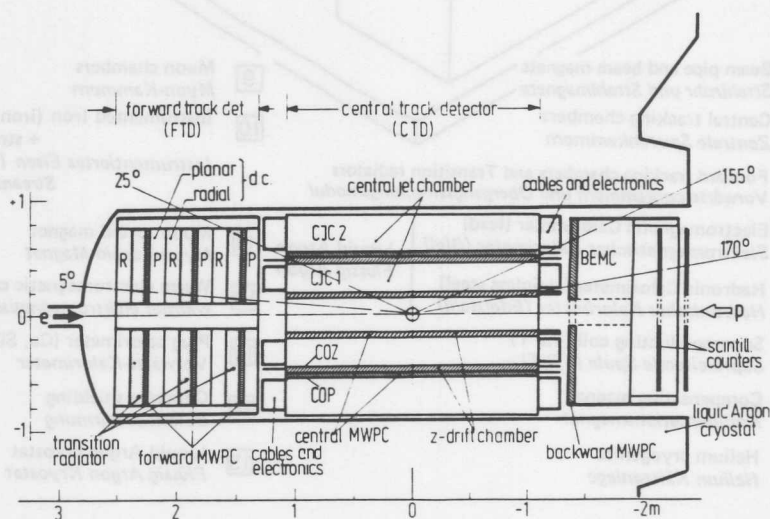


Abbildung 1.6: Der zentrale Spurendetektor (aus [H1C88])

Die innere (CIZ) und äußere (COZ) z-Kammer dienen zur Auflösung der z-Koordinate³; die innere (CIP) und äußere (COP) *Vieldrahtproportional-kammer* erzeugen ein promptes Triggersignal beim Durchgang einer Teilchenspur. Zur vollständige Rekonstruktion der Teilchenspuren und der Impulsbestimmung durch die Spurkrümmung im Magnetfeld dienen zwei Jetkammern (CJC 1 + 2).

Alle 6 Kammern besitzen separate Gasvolumen und elektrostatische Abschirmungen. Nachdem sie einzeln aufgebaut und getestet worden sind, werden sie zu einer mechanischen Einheit zusammengesetzt und als Ganzes in den H1-Detektor eingebaut.

Der Aufbau und die Funktionsweise von CJC 1 + 2 werden in Kapitel 1.3 beschrieben. Der Vorwärts-Spuredetektor besteht aus sich abwechselnden Lagen von radialen und planaren Driftkammern. Zusätzlich wird Material zur Erzeugung von Übergangsstrahlung installiert, so daß mit Hilfe der radialen Kammern eine Teilchenidentifikation möglich ist.

Kalorimeter

Das Kalorimeter besteht aus 3 Teilen. Dabei deckt der Zentralteil einem Polarwinkelbereich Θ von $25^\circ < \Theta < 160^\circ$ und der Vorwärtsteil einen Bereich von $4^\circ < \Theta < 25^\circ$ ab. Beide Teile bestehen aus einem elektromagnetischen Kalorimeter mit Bleiplatten als Absorber und Flüssig-Argon als Nachweismaterial sowie einem hadronischen Kalorimeter mit Edelstahl als Absorber und Flüssig-Argon als Nachweismaterial. Sie befinden sich in einem Kryostaten innerhalb der Spule. Ihre Energieauflösungen betragen $12\%/\sqrt{E}$ (elektromagnetisch) bzw. $55\%/\sqrt{E}$ (hadronisch).

In Rückwärtsrichtung (Elektronrichtung) ist ein Blei-Szintillator-Kalorimeter für den Nachweis von Elektronen aus Streuungen mit kleinem Q^2 (BEMC) installiert.

Supraleitende Spule

Der Kryostat ist von einer supraleitenden Solenoidspule umgeben, die ein axiales Magnetfeld der Stärke $1.2T$ erzeugt. Der Radius der Spule beträgt $3m$, und sie ist $5.75m$ lang.

Instrumentiertes Eisen

Das Eisenjoch dient zur Rückführung des magnetischen Flusses und wirkt außerdem als hinterste Absorberschicht für das hadronische Kalorimeter (*Tail Catcher*). Zum Nachweis von Myonen befinden sich innerhalb des Jochs mehrere Schichten von Streamerkammern.

Vorwärts-Myonspektrometer

In Vorwärtsrichtung besteht das Myon-System aus einem Eisen-Magneten mit toroidalem Feld und Schichten von Myon-Driftkammern.

³Die z-Richtung ist die Flugrichtung der Protonen.

Abschluß-Kalorimeter (PLUG)

In Vorwärtsrichtung können Teilchen bis zu einem Polarwinkel $\Theta \geq 0.7^\circ$ mit einem Kupfer-Silizium-Kalorimeter nachgewiesen werden. Das Kalorimeter kann zur Bestimmung der Ereignisrate verwendet werden. Die eigentlichen Luminositätszähler befinden sich im Strahlrohr in einiger Entfernung vom Detektor.

1.3 Die zentrale Spurenkammer des H1-Detektors

1.3.1 Das Funktionsprinzip einer Driftkammer

An dieser Stelle kann nur eine kurze Einführung in das Funktionsprinzip einer Driftkammer gegeben werden. Eine ausführliche Behandlung befindet sich in [SAU77] und [KLE87]. Gute Zusammenfassungen liefern auch [SCH89] und [SCH88].

In Abbildung 1.7 ist eine minimale Driftzelle mit einem Signaldraht gezeigt, die sich in einem Gasvolumen befindet. Der Signaldraht (+HV2) liegt gegenüber der Kathodenebene (-HV1) auf positivem Potential und bildet die Anode. Dadurch entsteht ein elektrisches Feld, das in einem großen Bereich homogen ist. In der Nähe des Signaldrahtes wird das Feld stark inhomogen; die Feldstärke steigt stark an.

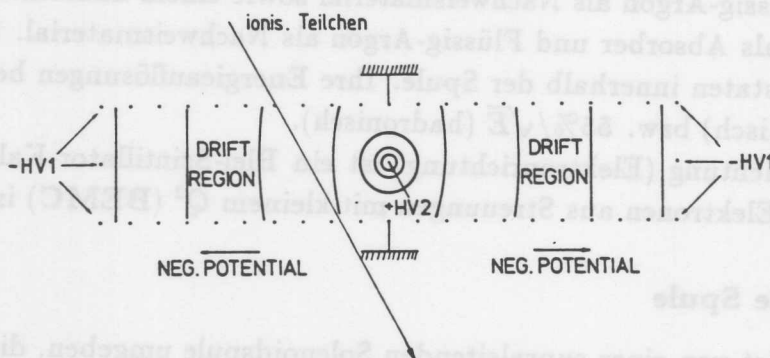


Abbildung 1.7: Driftzelle mit einem Signaldraht (aus [KLE87])

Beim Durchgang eines geladenen Teilchens durch die Driftzelle finden elastische Stöße zwischen dem Teilchen und den Elektronenhüllen der Gasatome statt, die längs der Teilchenspur zur Ionisation der Gasatome führen (**Ionisationsphase**). Die dabei entstehenden Elektronen driften entlang der elektrischen Feldlinien mit konstanter Geschwindigkeit ($v_D \approx 50 \mu\text{m/ns}$) zum Signaldraht (**Driftphase**). In der Nähe des Signaldrahtes werden sie im stark inhomogenen Feld so stark beschleunigt, daß sie in einem lawinenartigen Prozeß weitere Gasatome ionisieren können (**Gasverstärkungsphase**). Mit einer geeigneten Elektronik kann der dabei entstehende Spannungspuls am Signaldraht registriert werden. Die Zeitdifferenz zwischen Teilchendurchgang und Signalentstehung $t_D - t_0$ ist dann ein Maß für die Länge des Driftweges s und damit für den Ort des Teilchendurchganges. Es gilt:

$$s = \int_{t_0}^{t_D} v_D(t) dt \approx v_D \cdot (t_D - t_0) \quad (1.1)$$

Eine Driftkammer besteht aus Driftzellen mit mehreren Signaldrähten. Die wiederholte Ortsmessung an den Signaldrähten der Kammer erlaubt eine Rekonstruktion der Spur eines geladenen Teilchens in der r - ϕ -Ebene. Die Ortsauflösung für eine Punkt ist typischerweise $100 - 150 \mu\text{m}$.

Befindet sich die Kammer in einem magnetischen Feld ($[B] = T$), läßt sich aus der Vermessung der Krümmung der Spur (Radius $[R] = m$) der Transversalimpuls ($[p_{\perp}] = \text{GeV}/c$) bestimmen:

$$p_{\perp} = 0.3 \cdot B \cdot R \quad (1.2)$$

Die *Lorentzkraft* wirkt auch auf die driftenden Ionisationselektronen. Die Auswirkungen dieses Effektes auf die Funktionsweise der CJC wird im nächsten Kapitel beschrieben.

1.3.2 Der Aufbau der zentralen Spurenkammer

Der innere Ring der zentralen Jetkammer (CJC 1) enthält 30, der äußere (CJC 2) 60 Driftzellen, die mit 24 bzw. 32 Signaldrähten bestückt sind. Weitere Drähte bilden Potential-, Kathoden- und Felddrahtebenen. Die Signaldrahtebenen sind um 30° gegen die radiale Richtung geneigt, was zu einigen Vorteilen gegenüber einer rein radialen Anordnung führt (siehe Abbildung 1.8).

- Die Drift der Elektronen erfolgt im Magnetfeld nicht mehr entlang der Feldlinien des elektrischen Feldes. Die *Lorentzkraft* zwingt die Elektronen auf Kreisbahnen, so daß sich ein konstanter Winkel (*Lorentzwinkel*) zwischen der Driftbewegung der Elektronen und dem elektrischen Feld einstellt. Dieser Winkel wird bei den Betriebsparametern der CJC durch die Neigung der Zellen weitgehend ausgeglichen. Für hochenergetische Teilchen steht dann die Driftrichtung der Elektronen nahezu senkrecht auf ihrer Spur, was zu einer besseren Doppelspurauflösung führt. Bei einer Driftgeschwindigkeit von $v_D \approx 50 \mu\text{m}/\text{ns}$ und einem maximale Driftweg von 44.5mm ergeben sich Driftzeiten von $t_D \leq 1.0 \mu\text{s}$.
- Die Meßgröße einer Driftkammer ist die Driftzeit der Elektronendrift vom Ort der Spur bis zum Signaldraht. Diese ergibt den **Abstand** der Spur vom Signaldraht. Für jede Driftzelle ergeben sich zwei mögliche Spuren (Driftkammer-Mehrdeutigkeit oder *Ambiguität*). Eine Spur besitzt bei geneigten Zellen immer die Eigenschaft, daß sie sich **nicht** in der nächsten Zelle fortsetzt und **nicht** zum Wechselwirkungspunkt zeigt. Sie kann leicht erkannt und verworfen werden. Für kurze Spuren wird diese Unterscheidung durch das *Staggering*⁴ unterstützt.
- Die Spur eines hochenergetischen Teilchens kreuzt stets mindestens einmal eine Signaldrahtebene in der CJC, die Driftzeit wird dabei zu Null. Deshalb ist es möglich, mit den aufgezeichneten Daten eine Kalibration der Kammer durchzuführen (*selbstkalibrierende* Kammer), da der Zeitpunkt des Kreuzens der Signaldrahtebene den Zeitnullpunkt t_0 der Driftzeit bestimmt. Wegen dieser Eigenschaft ist die CJC eine wichtige Komponente des H1-Triggersystems (siehe Kapitel 1.4).

⁴Die Signaldrähte sind alternierend um $150 \mu\text{m}$ aus der Signaldrahtebene versetzt angeordnet.

- Das Übersprechen (*cross talk*) auf die benachbarten Signaldrähte wird für Spuren hochenergetischer Teilchen unterdrückt, da die Signalentstehung an den Drähten zeitversetzt erfolgt.

Die Signaldrähte in jeder Zelle sind von einer Doppelreihe von Potentialdrähten umgeben. Diese Anordnung führt zu einer Verringerung des Oberflächenfeldes und des Übersprechens zwischen den Signaldrähten um den Faktor 2 (nach [BUE89]). Aus diesem Grund und wegen der Neigung der Signaldrahtebenen kann auf die Kompensation des Übersprechens verzichtet werden. Die Verringerung der Oberflächenfeldstärke vermindert außerdem das Altern (*ageing*, siehe [BRE90]) durch Ablagerungen auf den Drähten.

Die Aufnahme der Zugspannungen der insgesamt 14370 Drähte der CJC an den Endwänden stellt hohe Anforderungen an ihre Festigkeit. Gleichzeitig wird eine geringe Materialbelegung der Wände gefordert, um die Messungen durch Aufschauern nicht zu beeinträchtigen. Um beiden Ansprüchen zu genügen, wird das Gehäuse der CJC aus leichten Verbundmaterialien⁵ gefertigt. Einen kurzen Überblick über einige Parameter und die angestrebten Meßgenauigkeiten der CJC ist in Tabelle 1.2 gegeben.

Parameter	Einheit	CJC 1	CJC 2	Total
Anzahl der Zellen		30	60	
Signaldrähte / Zelle		24	32	2640
Potentialdrähte / Zelle		50	66	5460
Felddrähte / Zelle		10	10	900
Kathodendrähte / Zelle		49	65	5370
Radius innen	[cm]	20.35	53.00	
Radius außen	[cm]	45.15	84.40	
Länge	[cm]	220.0	220.0	
Gasvolumen	[m ³]	1.14	3.08	4.22
Zellneigung		30°	30°	
Min. Driftstrecke	[mm]	22.9	28.5	
Max. Driftstrecke	[mm]	44.5	43.1	
Materialbelegung unter 90°				0.02X ₀
Ortsauflösung in r-φ			≈ 100μm	
Ortsauflösung in z			≈ 25mm	
Doppelspurauflösung			≈ 2.5mm	
sensitiver Winkelbereich			20° – 160°	

Tabelle 1.2: Einige Daten der CJC (aus [BUE89] und [PRO86])

⁵Carbonfiber verstärkter Kunststoff (CFK) und Glasfiber verstärkter Kunststoff (GFK)

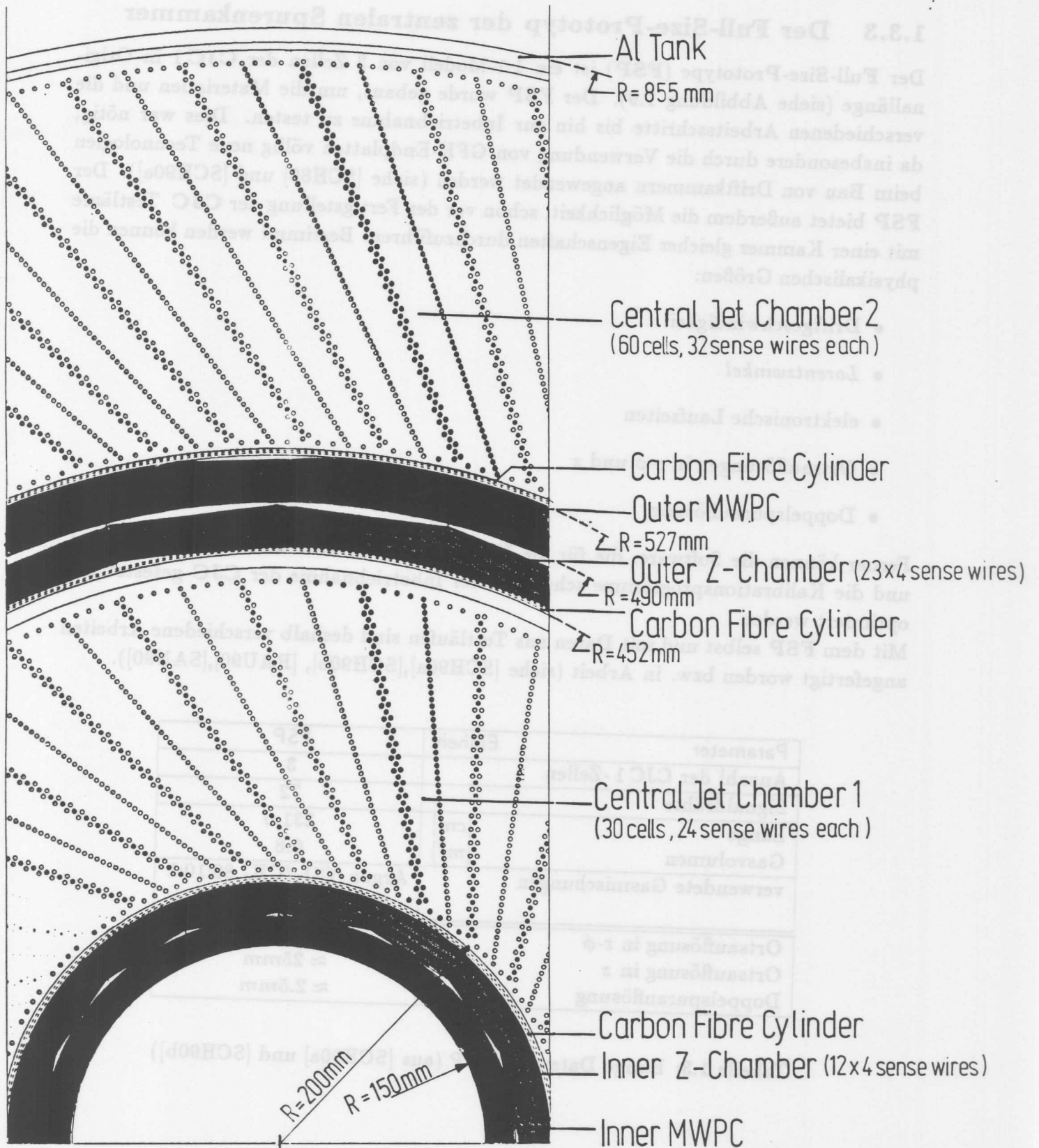


Abbildung 1.8: Querschnitt durch die CJC (aus [BUE89])

1.3.3 Der Full-Size-Prototyp der zentralen Spurenkammer

Der Full-Size-Prototyp (FSP) ist ein 1:1-Modell von 3 Zellen der CJC 1 in Originallänge (siehe Abbildung 1.9). Der FSP wurde gebaut, um die Materialien und die verschiedenen Arbeitsschritte bis hin zur Inbetriebnahme zu testen. Dies war nötig, da insbesondere durch die Verwendung von GFK-Endplatten völlig neue Technologien beim Bau von Driftkammern angewendet werden (siehe [SCH89] und [SCH90a]). Der FSP bietet außerdem die Möglichkeit, schon vor der Fertigstellung der CJC Testläufe mit einer Kammer gleicher Eigenschaften durchzuführen. Bestimmt werden können die physikalischen Größen:

- Driftgeschwindigkeit
- Lorentzwinkel
- elektronische Laufzeiten
- Ortsauflösungen in r - ϕ und z
- Doppelspurauflösung

Ferner können die Software, die für die Verarbeitung der Driftkammerdaten nötig ist, und die Kalibrationsprogramme schon vor der Inbetriebnahme der CJC getestet und optimiert werden.

Mit dem FSP selbst und mit Daten aus Testläufen sind deshalb verschiedene Arbeiten angefertigt worden bzw. in Arbeit (siehe [SCH90a],[SCH90b], [RAU90],[SAN90]).

Parameter	Einheit	FSP
Anzahl der CJC 1 -Zellen		3
Signaldrähte		72
Länge	[cm]	231.0
Gasvolumen	[m ³]	0.8
verwendete Gasmischungen		Argon/CO ₂ /CH ₄ 89:10:1 Argon/C ₂ H ₆ 50:50
Ortsauflösung in r - ϕ		135 – 160 μ m
Ortsauflösung in z		\approx 25mm
Doppelspurauflösung		\approx 2.5mm

Tabelle 1.3: Einige Daten des FSP (aus [SCH90a] und [SCH90b])

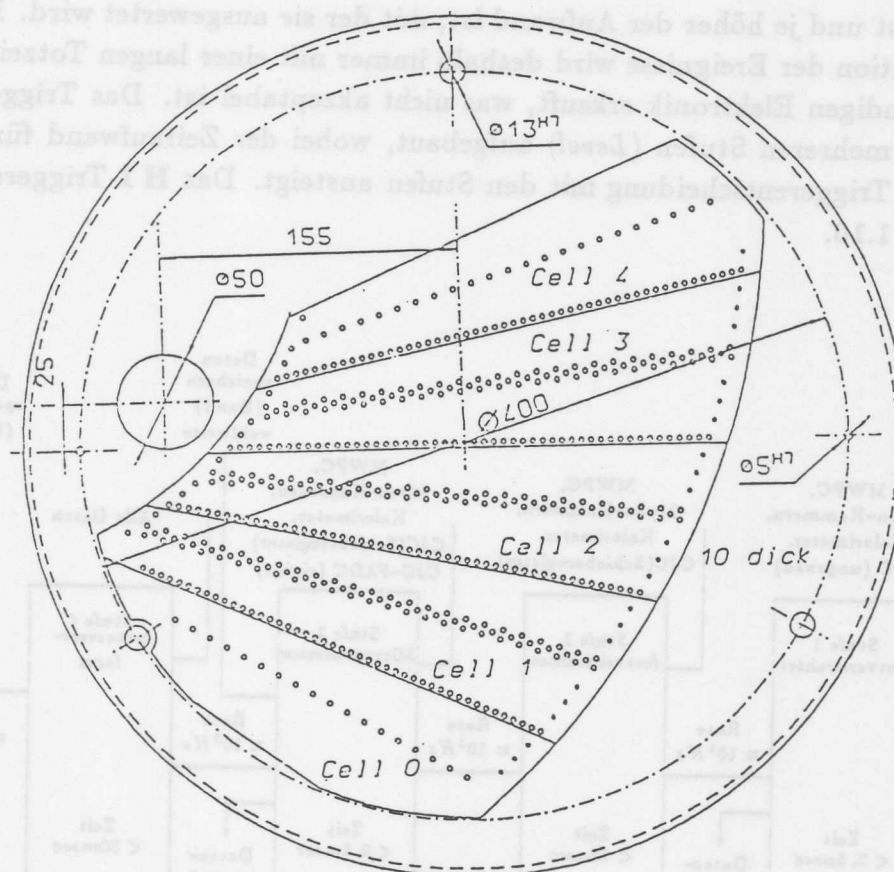


Abbildung 1.9: Die Endwand des FSP (aus [SCH90a])

1.4 Das H1-Triggerkonzept

Beim Speicherring HERA treffen die Teilchenpakete alle $96ns$ an den Wechselwirkungszonen aufeinander. Bei jedem *bunch crossing* ist ein physikalisch interessantes Ereignis (siehe Kapitel 1.1) möglich, das erkannt, abgespeichert und analysiert werden soll. Die erwartete Rate solcher Ereignisse ist allerdings nur einige Hz . Wesentlich häufiger treten sogenannte Untergrund-Ereignisse auf (einige kHz). Sie stammen aus Wechselwirkungen des Protonenstrahls mit Restgas-Molekülen (*beam-gas*) oder dem Strahlrohr (*beam-wall*); die Rate der Teilchen der kosmische Höhenstrahlung ist im Bereich des Wechselwirkungspunktes vernachlässigbar klein. Allen Untergrund-Ereignissen ist gemeinsam, daß sie in aller Regel nicht aus dem Wechselwirkungspunkt (*Vertex*) stammen oder zu einem falschen Zeitpunkt erscheinen.

Das H1-Triggerkonzept hat die Aufgabe, Kandidaten für die Wechselwirkung der Elektronen und Protonen zu selektieren, da die Speicherrate nur etwa 5 Ereignisse pro Sekunde beträgt. Die Untergrund-Ereignisse müssen unterdrückt werden, ohne daß physikalisch interessante Ereignisse verloren gehen.

Eine Triggerentscheidung kann um so genauer sein, je größer die zugrundeliegende Da-

tenmenge ist und je höher der Aufwand ist, mit der sie ausgewertet wird. Eine genaue Rekonstruktion der Ereignisse wird deshalb immer mit einer langen Totzeit oder einer sehr aufwendigen Elektronik erkauft, was nicht akzeptabel ist. Das Triggersystem ist deshalb in mehreren Stufen (*Level*) aufgebaut, wobei der Zeitaufwand für die Erzeugung einer Triggerentscheidung mit den Stufen ansteigt. Das H1-Triggersystem zeigt Abbildung 1.10.

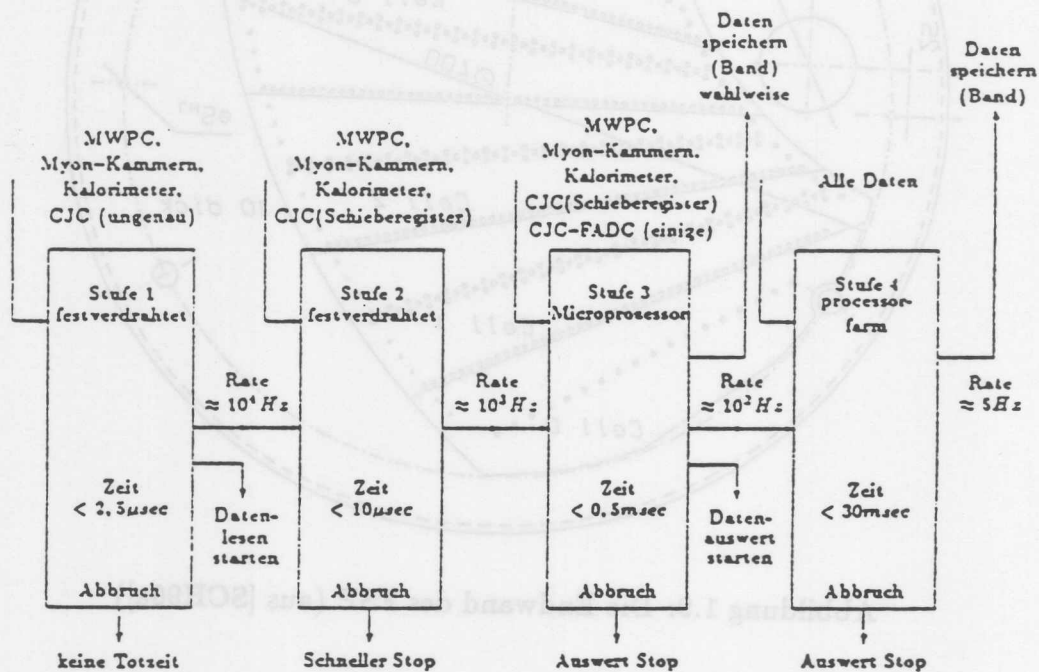


Abbildung 1.10: Das H1-Triggersystem (aus [WOL89])

Der Trigger erster Stufe (*Level 1-Trigger*) liefert zu jedem *bunch crossing* mit einer Verzögerung von 22 *bunch crossings* eine Triggerentscheidung (totzeitfreier Trigger), die am Ende eine Datenkette (*Pipeline*) aus den Signalen verschiedener Subtrigger erzeugt wird. Die zentrale Triggerlogik verknüpft 64 Kanäle logisch, wobei die Verknüpfungslogik flexibel ist. Die folgenden Detektorkomponenten tragen zum *Level 1-Trigger* bei:

- Das **Kalorimeter** liefert aufgrund seiner feinen Segmentierung sowohl eine Richtungsinformation als auch Informationen über die Energiedeposition. Der Kalorimeter-Trigger arbeitet als *Stand-Alone-Trigger*⁶. Durch eine Analyse der Signalform ist es möglich, eine Zuordnung des Triggersignals zu einem bestimmten *bunch crossing* vorzunehmen, um den Zeitnullpunkt t_0 des Ereignisses zu bestimmen (siehe [PRO86]).
- Die **Vieldrahtproportionalkammern** erzeugen totzeitfrei nach etwa 200ns ein Triggersignal und bilden die schnellste Komponente. Der Wechselwirkungspunkt

⁶Subtrigger, der unabhängig von anderen Detektorkomponenten arbeitet.

kann bei Ereignissen mit vielen Spuren in z -Richtung auf 6cm genau bestimmt werden (*Vertex-Trigger*). Bei Ereignissen mit kleinen Multiplizitäten können durch geometrische Betrachtungen Spuren Richtungssegmenten zugeordnet werden (*Ray Trigger*). In Koinzidenz mit dem Kalorimeter-Trigger ist eine t_0 -Bestimmung möglich.

- Aus den Signalen der **Driftkammern** können Triggerentscheidungen sowohl für die r - ϕ -Ebene (**CJC**) als auch für die r - z -Ebene (**CIZ** und **COZ**) getroffen werden. Die Signale werden dazu diskriminiert mit der Taktfrequenz des *bunch crossings* von ca. 10MHz in Schieberegister eingeschoben. Eine festverdrahtete Logikschaltung sucht Muster in den Einträgen, die zu Spursegmenten gehören. Die entgeltige Triggerentscheidung wird dann durch die Verknüpfung der einzelnen Segmente zu ganzen Spuren getroffen. Dabei ist zu beachten, daß aufgrund der endlichen Driftgeschwindigkeit erst nach etwa $1.0\mu\text{s}$ sämtliche Spurinformatoren vorliegen. Andererseits ist der Zwischenspeicher der digitalisierten Driftkammer-Signale nur $2.5\mu\text{s}$ tief, so daß die Triggerentscheidung der ersten Stufe spätestens nach 25 *bunch crossings* gefällt worden sein muß, um keine Daten zu verlieren (siehe [WOL89],[EIC90],[BEH89]).
- Die **Myon Kammern** ergänzen die Informationen von Kalorimeter- und Driftkammer-Triggern. Innerhalb von $0.5\mu\text{s}$ kann aus der Koinzidenz von verschiedenen Modulen im instrumentierten Eisen ein Richtungssegment ausgewählt werden (*Ray Trigger*).
- In Protonenrichtung vor dem Detektor befindet sich eine Wand aus **Szintillatoren**, die ein *Veto*-Signal liefert, falls Teilchen (Myonen) mit dem Protonenstrahl entlang der z -Achse in den Detektor fliegen. Diese Teilchen, die durch die Wechselwirkung der Protonen mit dem Strahlrohr entstehen, werden als *Myonen-Halo* bezeichnet.

Mit dem *Level 1*-Trigger wird die gesamte Datenauslese des H1-Detektors gestoppt. Zu diesem Zeitpunkt sind alle Signale des *bunch crossings* in einer *Pipeline* gespeichert. Der Zeitbedarf dieser Stufe ist etwa $2.2\mu\text{s}$. In der zweiten Triggerstufe (*Level 2*) wird dann eine zweite Triggerentscheidung getroffen, die im Vergleich zur ersten Stufe mit einer wesentlich aufwendigeren Verknüpfungslogik arbeitet, aber noch festverdrahtet ist. Ihre Triggerentscheidung dauert etwa $10\mu\text{s}$.

Die dritte Triggerstufe (*Level 3*) benutzt ein Mikroprozessor-System und arbeitet auf der Basis der zwischen 10 und $100\mu\text{s}$ verfügbaren Informationen. Das sind die Digitalisierungen der Kalorimeter-Signale, die Signale der *Vieldrahtproportionalkammern* und die Digitalisierungen der Driftkammer-Signale. Der Zeitbedarf ist etwa 0.5ms . Die Rate der Ereignisse, die diese Stufe durchlaufen können, beträgt nur noch einige 100Hz .

Die vierte Triggerstufe (*Level 4*) reduziert mit Hilfe einer Mikroprozessorfarm den Datenfluß auf etwa 5Hz , der von den Speichermedien der **DESY-IBM 3090S** verarbeitet werden kann.

1.5 Die Motivation der Arbeit

Für die Testphase der **CJC** vor und nach dem Einbau in den **H 1**-Detektor soll ein Triggersystem für Messungen mit Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung zur Verfügung stehen, um Kalibrationen und Systemtests durchführen zu können. Die ausgewählten Spuren sollen dabei genau wie die physikalisch interessanten Ereignisse bei **HERA** den Bereich des Wechselwirkungspunktes kreuzen und die Kammer radial durchqueren.

Üblicherweise verwendet man für Höhenstrahlungs-Trigger Szintillatoren, die in Koinzidenz geschaltet den Durchgang eines Teilchens durch die Kammer signalisieren und die Datenauslese steuern.

Solange sich die **CJC** außerhalb des **H 1**-Detektors befindet läßt sich ein solches Szintillator-Triggersystem realisieren (siehe [REU88]). Für die Testphase im **H 1**-Detektor ist zwar ein Szintillator-Triggersystem vorgesehen, bei dem sich die Szintillatoren auf und unter dem Eisenjoch befinden, es liefert jedoch keine Auswahl von Spuren, die den Bereich des Wechselwirkungspunktes kreuzen und ist deshalb als Spurtrigger nicht zu verwenden.

Um unabhängig von anderen Detektorkomponenten Testmessungen durchführen zu können, wird ein Triggersystem benötigt, das nur die Driftkammersignale selbst verwendet. Der für den **H 1**-Detektor geplante Driftkammer-Spurtrigger (siehe Kapitel 1.4) ist zwar in Planung, wird aber für die Testphase nicht zur Verfügung stehen. Außerdem ist er zu restriktiv auf die Selektion von Ereignissen, die ihren Ursprung auf der Strahlachse haben. Es besteht daher ein Bedarf an einem Driftkammer-Spurtrigger, der während dieser Phase getestet und einsatzbereit ist.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen einfachen Spurtrigger für Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung, der nur die Driftkammer-Signale selbst verwendet, aufzubauen und zu testen. Da die Durchgänge von Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung rein zufällig erfolgen, kann er nicht synchronisiert werden. Ferner ist der Spurtrigger so zu realisieren, daß er in die Auslese-Elektronik integriert werden kann; die Spurtrigger-Elektronik soll in den Auslese-Überrahmen gesteckt werden können.

Die Arbeit umfaßt neben der Beschreibung der Konzeption des Spurtriggers und der technischen Realisierung der einzelnen Komponenten eine Auswertung der mit dem **FSP** genommenen Daten. Dabei werden insbesondere folgende Fragen beantwortet:

- Wie kann eine Auswahl von Spuren erfolgen ?
- Wie ist das Triggern auf Rauschsignale zu verhindern ?
- Wie groß ist die Ansprechwahrscheinlichkeit auf Spuren von Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung ?
- Wie hoch ist die Ausbeute an Ereignissen mit Spuren ?
- Wie läßt sich der Spurtrigger für die **CJC** verwenden ?

Kapitel 2

Das Konzept für den Spurtrigger

2.1 Die kosmische Höhenstrahlung

In der Geschichte der Elementarteilchenphysik spielte die kosmische Höhenstrahlung eine entscheidende Rolle. So gelangen wichtige Entdeckungen, wie z.B. die Entdeckung des Positrons oder der Pionen und Kaonen durch Höhenstrahllexperimente, bevor entsprechende Beschleuniger zur Verfügung standen. In den letzten Jahren hat das Interesse an der kosmischen Höhenstrahlung wieder stark zugenommen, da es erste Evidenzen für die Existenz von Punktquellen dieser Strahlung gab (z.B. hochenergetische γ -Astronomie mit HEGRA aus [HEI90]).

Die kosmische Höhenstrahlung bietet sich als Teilchenquelle für die Tests von Detektor-komponenten beim H1-Experiment an. Sie ist ständig verfügbar und bietet ein breites Impulsspektrum minimal-ionisierender Teilchen (Myonen mit Impulsen $p \geq 0.2 \text{ GeV}/c$), deren Intensität um den Zenithwinkel Θ verteilt ist (Abbildung 2.4):

$$I(\Theta) \propto \cos^{1.85}(\Theta) \quad (2.1)$$

Die Primärstrahlung, die aus dem Weltall auf die Erdatmosphäre trifft, besteht sowohl aus geladenen Teilchen als auch aus γ -Strahlung und Neutrinos. Die geladenen Teilchen sind zu 85% Protonen, zu 12.5% α -Teilchen, zu 2.5% schwere Kerne und zu $< 1\%$ Elektronen. Ihr Energiespektrum reicht bis 10^{20} eV und die chemische Zusammensetzung entspricht der universellen Zusammensetzung des Weltalls (Abbildung 2.1 und 2.2). Wegen der irregulären galaktischen Magnetfelder ist die Richtungsinformation der geladenen Teilchen der Primärstrahlung verwischt, sie fällt isotrop ein (Anisotropie $< 0.5\%$). Die Suche nach Punktquellen der Strahlung ist nur durch neutrale Teilchen (γ -Strahlung und Neutrinos) möglich, deren Richtungsinformationen erhalten bleiben. Die Lufthülle der Erde bildet ein Target von etwa 12 Kernwechselwirkungslängen und 28 Strahlungslängen. Sowohl die geladenen Teilchen als auch die γ -Strahlung lösen deshalb hadronische bzw. elektromagnetische Kaskaden (Schauer) aus, die die Zusammensetzung der kosmischen Höhenstrahlung auf Meereshöhe völlig verändern. Die Teilchenzahl ist in etwa 20 km Höhe am größten (*Pfotzer-Maximum*). Man unterscheidet 3 Komponenten (Abbildung 2.3).

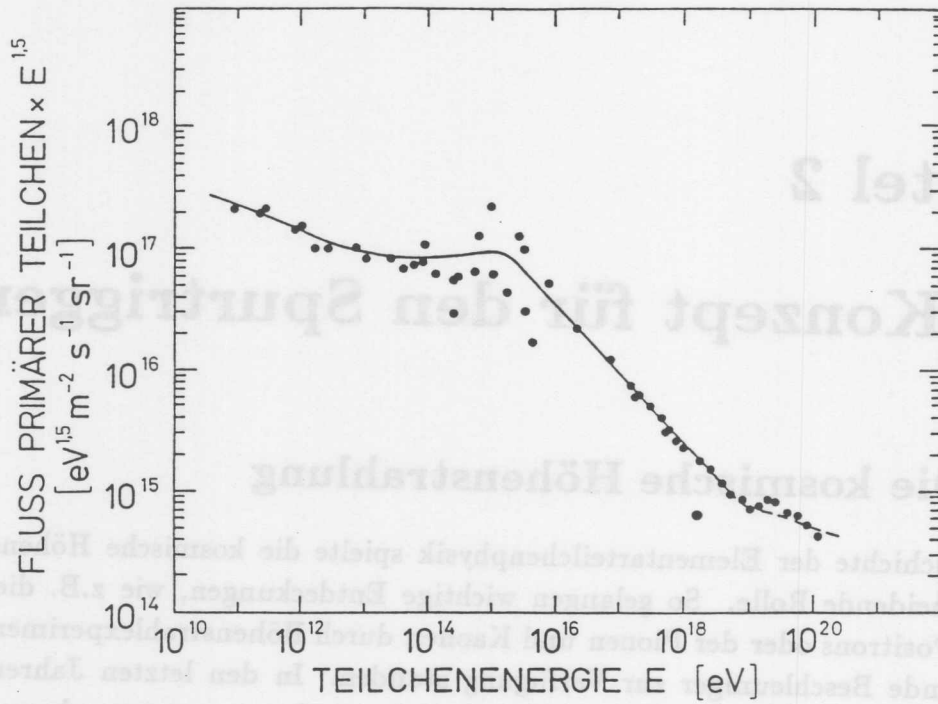


Abbildung 2.1: Das Energie-Spektrum (aus [GRU84])

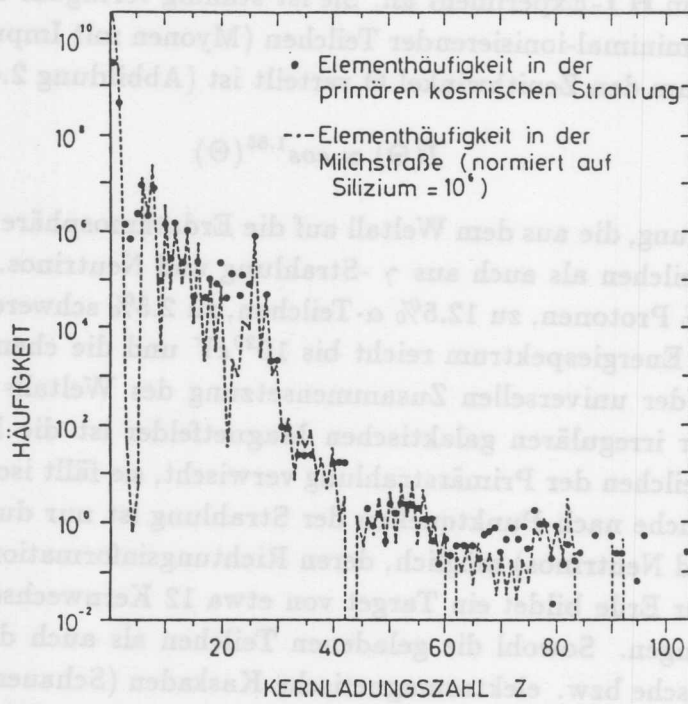


Abbildung 2.2: Die Chemische Zusammensetzung (aus [GRU84])

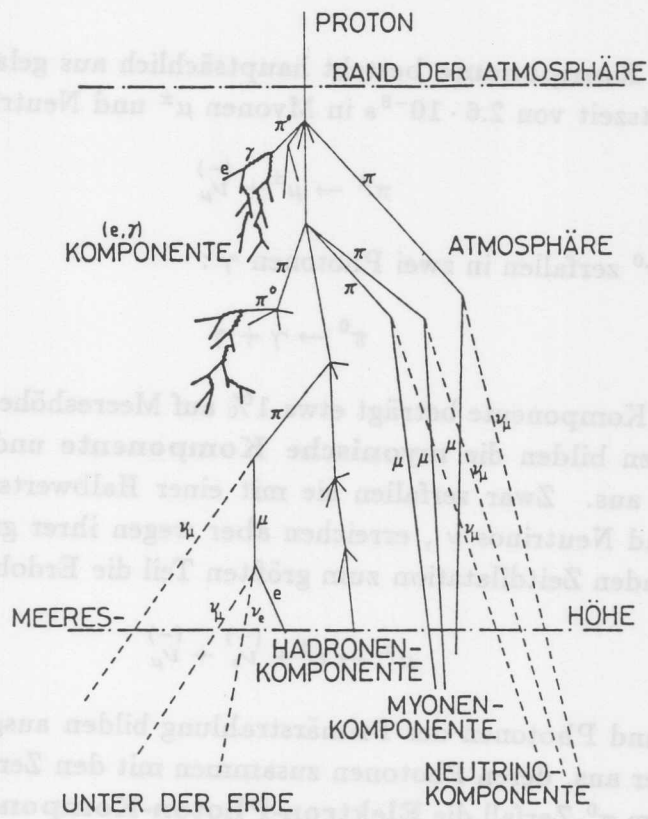


Abbildung 2.3: Die Komponenten der kosmischen Höhenstrahlung (aus [GRU84])

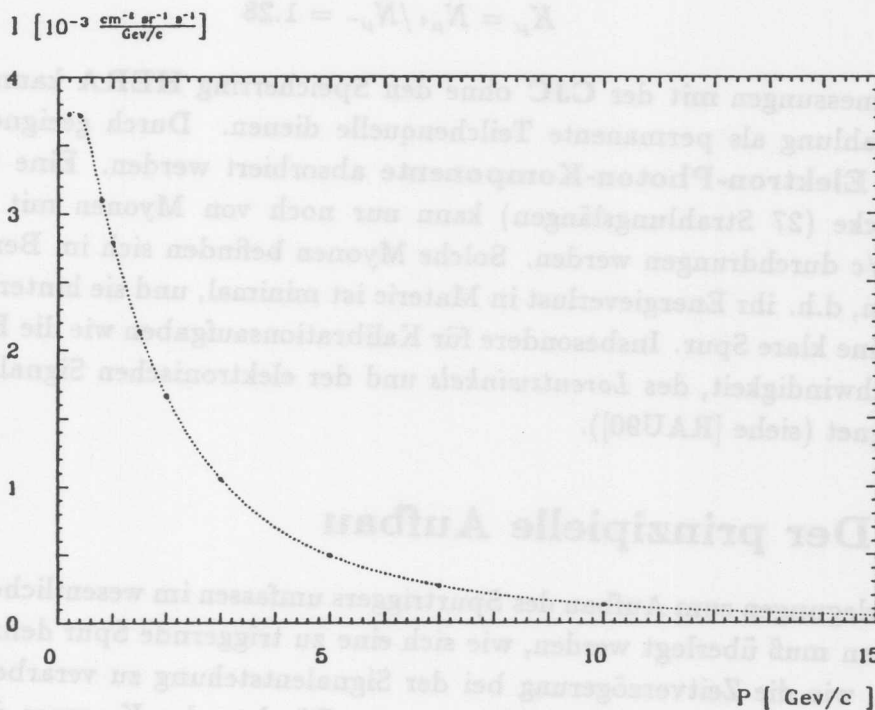


Abbildung 2.4: Die Verteilung der Intensitäten (aus [REU88])

Die **hadronische Komponente** besteht hauptsächlich aus geladenen Pionen π^\pm , die mit einer Halbwertszeit von $2.6 \cdot 10^{-8} s$ in Myonen μ^\pm und Neutrinos ν zerfallen:



Neutrale Pionen π^0 zerfallen in zwei Photonen γ :



Der Anteil dieser Komponente beträgt etwa 1% auf Meereshöhe.

Die Zerfallsmyonen bilden die **myonische Komponente** und machen 80% der geladenen Teilchen aus. Zwar zerfallen sie mit einer Halbwertszeit von $2.2 \cdot 10^{-6} s$ in Elektronen e^\pm und Neutrinos ν , erreichen aber wegen ihrer großen Impulse und der daraus resultierenden Zeitdilatation zum größten Teil die Erdoberfläche:



Die Elektronen und Photonen der Primärstrahlung bilden ausgedehnte elektromagnetische Luftschauer aus, deren Photonen zusammen mit den Zerfallselektronen und den Photonen aus dem π^0 -Zerfall die **Elektron-Photon-Komponente** bilden. Der Anteil der Elektronen an den geladenen Teilchen auf Meereshöhe beträgt etwa 20%. Durch den Überschuß an positiv geladenen Teilchen (Protonen) in der Primärstrahlung ist das Ladungsverhältnis zwischen den Myonen:

$$K_\mu = N_{\mu^+} / N_{\mu^-} = 1.28 \quad (2.5)$$

Für Testmessungen mit der **CJC** ohne den Speicherring **HERA** kann die kosmische Höhenstrahlung als permanente Teilchenquelle dienen. Durch geeignete Materialien kann die **Elektron-Photon-Komponente** absorbiert werden. Eine Bleischicht von 15cm Dicke (27 Strahlungslängen) kann nur noch von Myonen mit Impulsen $p \geq 0.35 GeV/c$ durchdrungen werden. Solche Myonen befinden sich im Bereich minimaler Ionisation, d.h. ihr Energieverlust in Materie ist minimal, und sie hinterlassen im Kammergas eine klare Spur. Insbesondere für Kalibrationsaufgaben wie die Bestimmung der Driftgeschwindigkeit, des *Lorentzwinkels* und der elektronischen Signallaufzeit sind sie gut geeignet (siehe [RAU90]).

2.2 Der prinzipielle Aufbau

Die Überlegungen zum Aufbau des Spurtriggers umfassen im wesentlichen zwei Aspekte. Zum einen muß überlegt werden, wie sich eine zu triggernde Spur definieren läßt, zum anderen, wie die Zeitverzögerung bei der Signalentstehung zu verarbeiten ist. Ferner ist zu beachten, daß die Signaldrähte an den Rändern der Kammer durch Inhomogenitäten des Feldverlaufes eine geringere Ansprechwahrscheinlichkeit haben. Gegenüber Ansprechwahrscheinlichkeiten von über 98% der mittleren Drähte sinkt sie am Rand

bis auf 95% (nach [SCH89]). Da die **CJC** erst nach der Fertigstellung des Spurtriggers zur Verfügung steht, wurde die Elektronik auf die Verhältnisse am **FSP** zugeschnitten. Dabei wurde darauf geachtet, daß sich die verwendeten Prinzipien und auch Teile der Hardware auf die **CJC** übertragen lassen.

Spurdefinition

Bei **HERA** haben die physikalisch interessanten Ereignisse Spuren, die aus dem *Vertex* kommen und sich dadurch von Untergrundereignissen unterscheiden. Der Spurtrigger soll deshalb in der Lage sein, Spuren von Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung auszuwählen, die eine ähnliche Topologie haben. Ein Triggersignal soll genau dann aus den Driftkammersignalen generiert werden, wenn eine Spur den Bereich um den *Vertex* durchquert. In Abbildung 2.5 ist eine solche Spur zu sehen. Sie beginnt im *Vertex* der **CJC** und schneidet 2 Zellen. Die Sterne markieren die Drähte, an denen Signale erzeugt werden. Die Spurdefinition erfolgt dadurch, daß aus jeder Zelle die mittleren 8 Signaldrähte zu 8 *Drahtlagen* aus je 3 Drähten durch ein logisches Oder verknüpft werden (siehe Abbildung 2.6). Die Spur in Abbildung 2.5 wird dann an 6 der 8 *Drahtlagen* ein Signal erzeugen (siehe Abbildung 2.7), wogegen eine Spur senkrecht zur Signaldrahtebene der mittleren Zelle nur 2 *Drahtlagen* erreicht (siehe Abbildung 2.8). Die Auswahl interessanter Spuren kann damit über die Anzahl der getroffenen Drahtgruppen erfolgen (*Majorität*).

Der Spurtrigger arbeitet in der r - ϕ -Ebene. Informationen über die Position der Spur in Drahtrichtung (z -Richtung) sollen keine Rolle spielen. Eine z -Information, z.B. aus der Ladungsteilung der Signale auf beiden Signaldrahtseiten, wird daher nicht berücksichtigt. Die Signale beider Drahtenden werden addiert.

Für den Betrieb des Spurtriggers mit der **CJC** soll die *Triggerlogik* fest verdrahtet sein. Um bei Testmessungen die Schaltung optimieren zu können, werden jedoch vorerst einige Parameter variabel sein. Insbesondere die Mindestanzahl der zu treffenden *Drahtlagen* für die Erzeugung eines Triggersignals ist einstellbar (*Majorität* von 8).

Koinzidenz

Durch die Driftgeschwindigkeit in dem verwendeten Kammergas (Argon/Ethan 50:50) von ca. $53\mu\text{m}/\text{ns}$ (siehe [SCH90d],[RAU90]) erreichen die durch Primäronisation erzeugten Ladungen die Signaldrähte verzögert. Die maximale Driftzeit beträgt ca. $1.0\mu\text{s}$. In Abbildung 2.9 ist die zeitliche Abfolge der Signalentstehung an 4 hintereinander liegenden Signaldrähten gezeigt. Die zugehörige Spur verläuft schräg zu der Signaldrahtebene und hat den kleinsten Driftweg zu Signaldraht 1 (*Wire* 1). Um eine Koinzidenz der 4 gezeigten Drähte zu erzeugen, müssen die Pulse zeitlich gedehnt werden. Der erste Puls öffnet ein Zeitfenster; mit Entstehung des letzten Pulses wird die Koinzidenz der 4 Drähte hergestellt. Die Größe des Zeitfensters muß der maximalen Driftzeit entsprechen, um zu gewährleisten, daß alle Signale einer Spur zur Koinzidenz beitragen können. Wird das Zeitfenster länger gewählt, steigt die Wahrscheinlichkeit, Pulse einer anderen Spur in die Koinzidenz miteinzubeziehen.

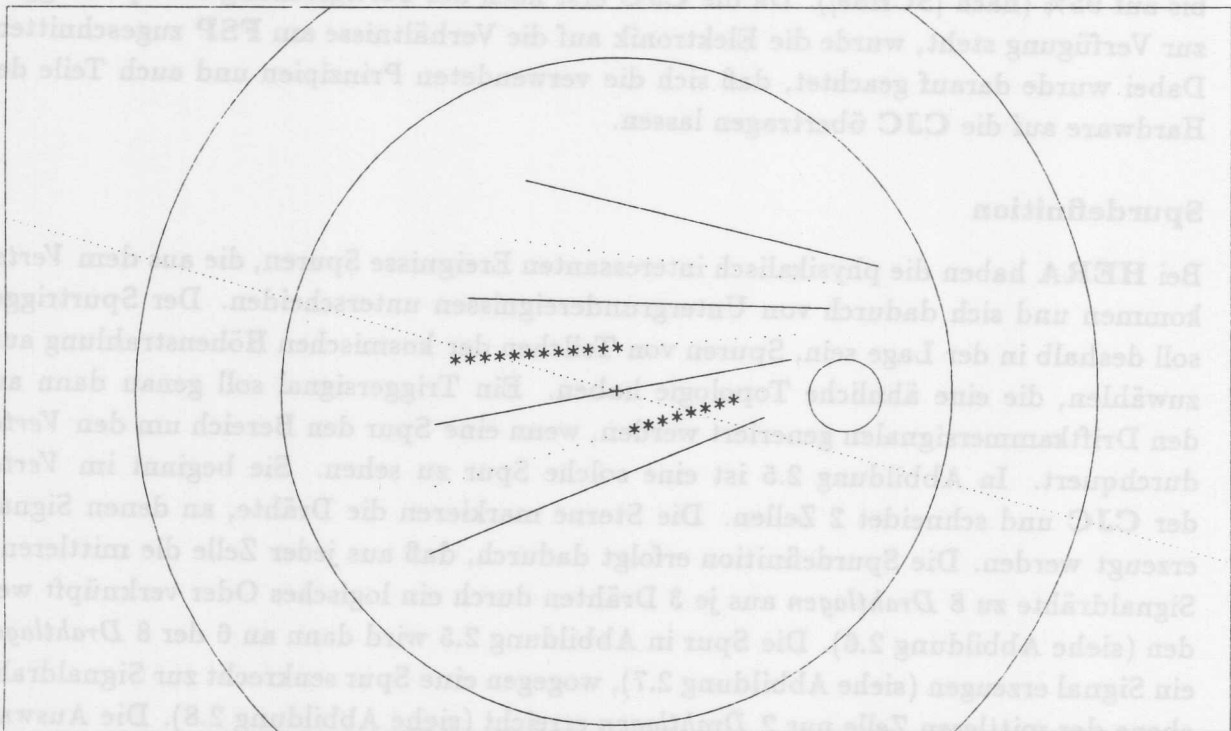


Abbildung 2.5: Spur aus dem Vertex der CJC

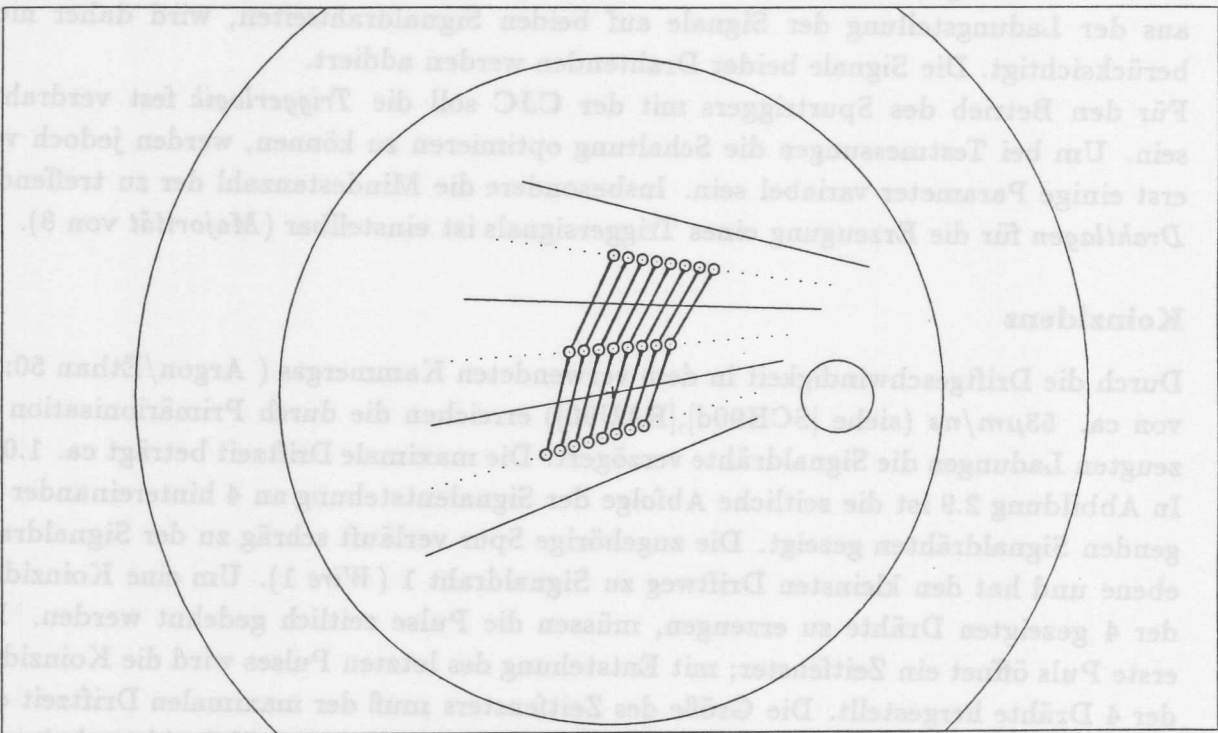


Abbildung 2.6: Auswahl und Verknüpfung der Signaldrähte

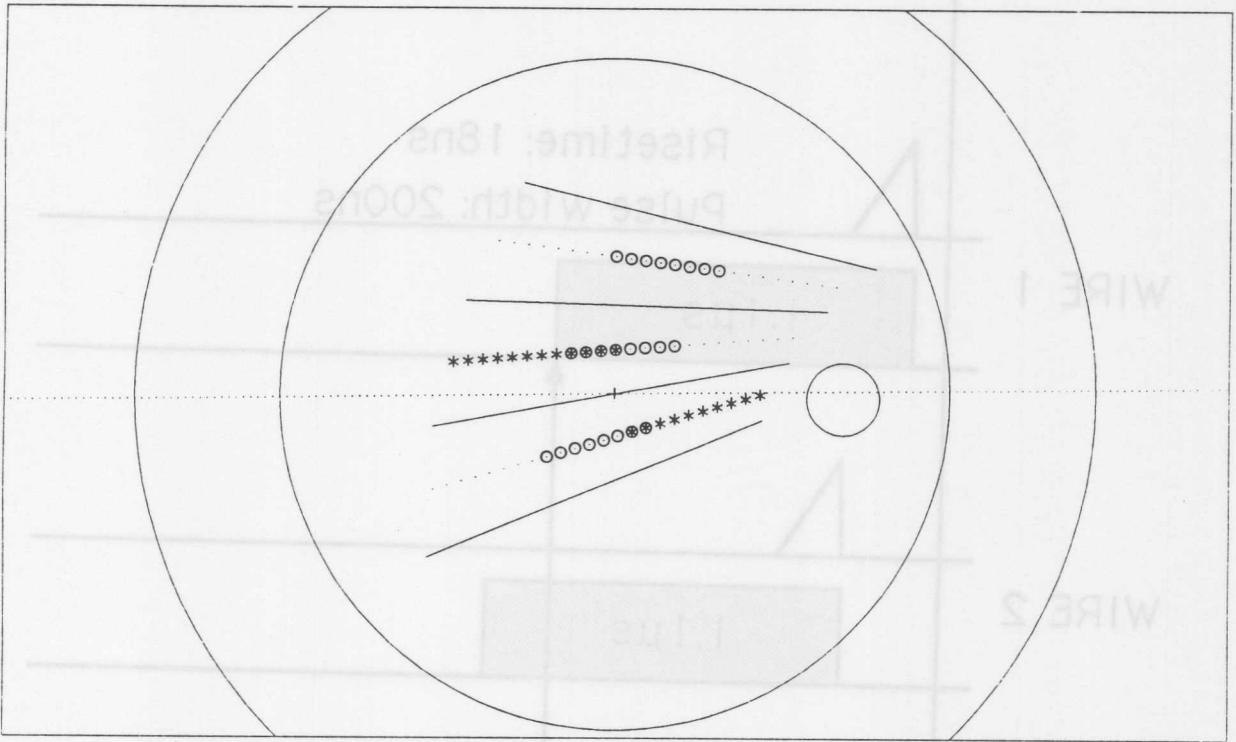


Abbildung 2.7: Verteilung der Signale über die Drahtlagen

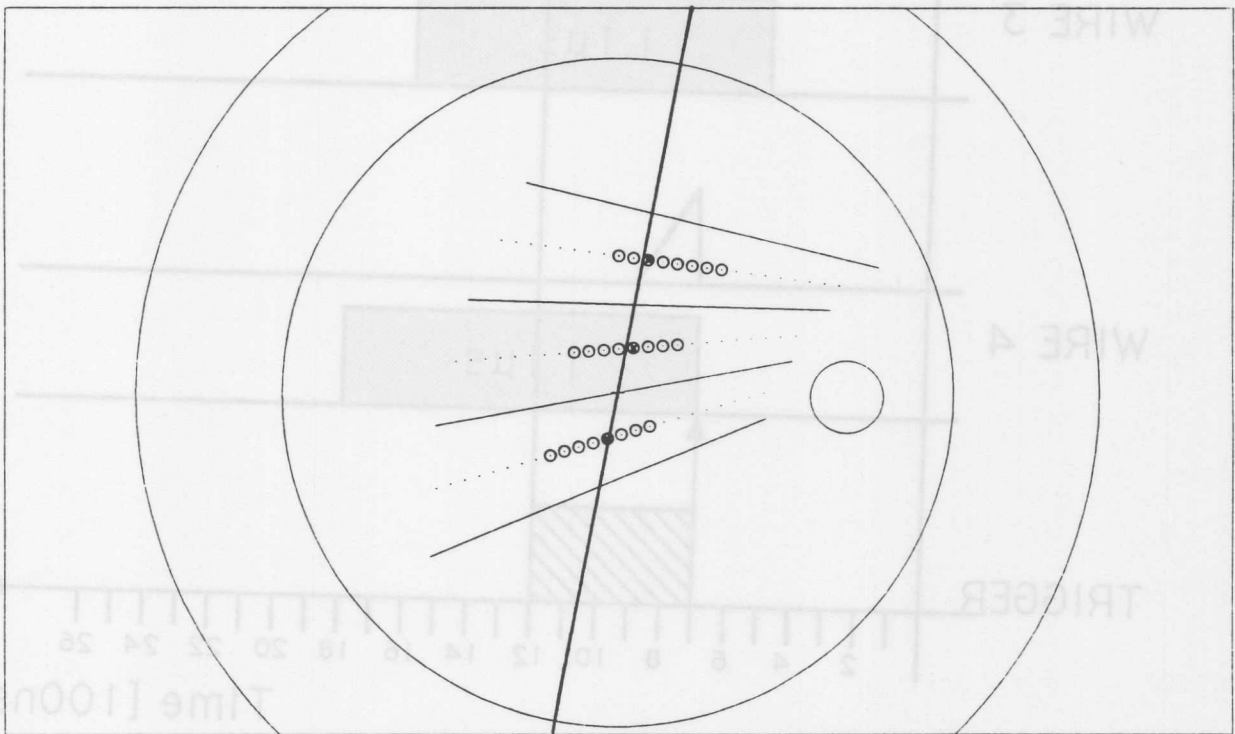


Abbildung 2.8: Spur, die nicht den Vertex-Bereich kreuzt

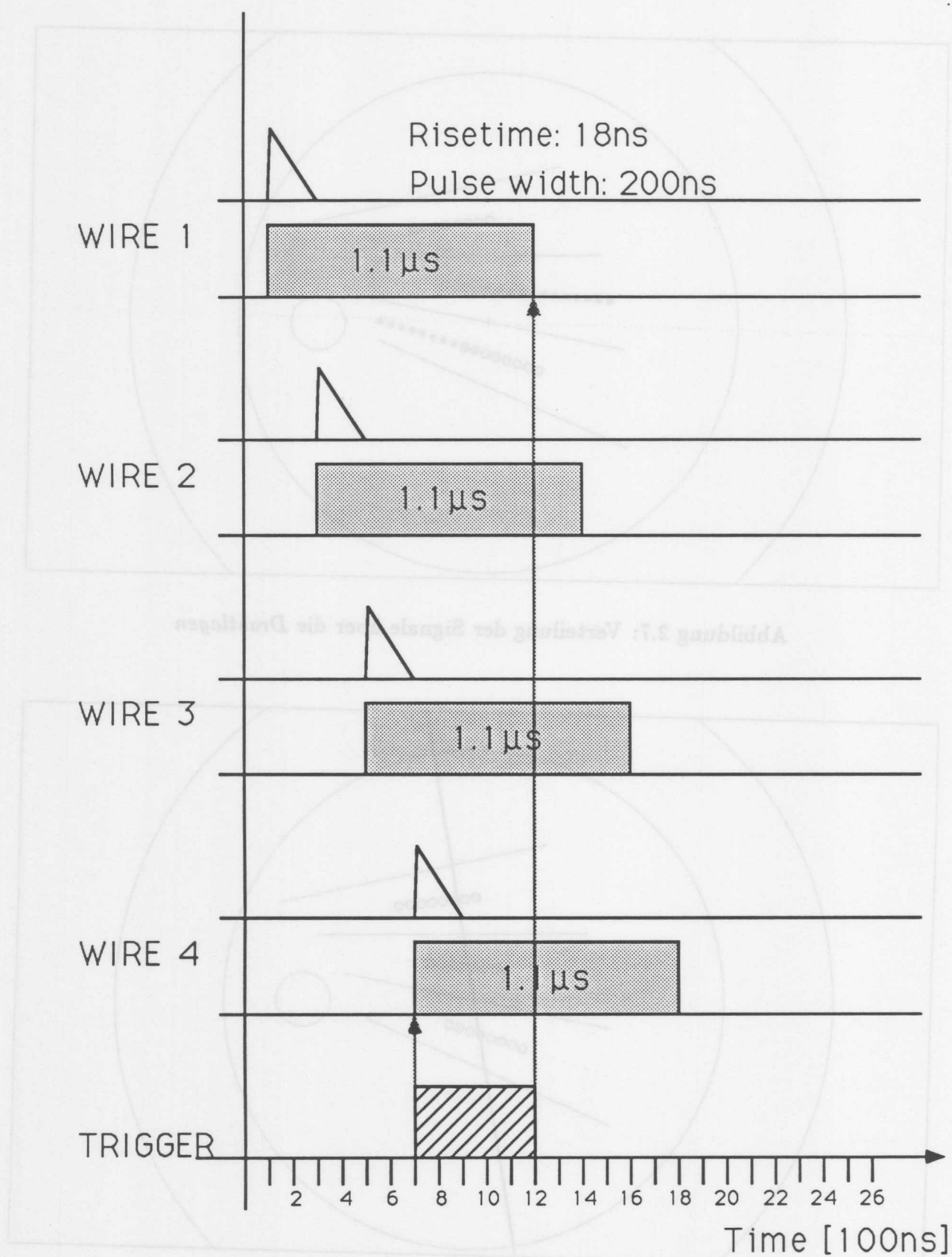


Abbildung 2.9: Zeitliche Abfolge der Signalentstehung

2.3 Die Simulation der Triggerlogik

Der entscheidende Parameter bei der Spurdefinition ist die Zahl der getroffenen *Drahtlagen*. Um diese Zahl zu ermitteln, wurde ein Simulationsprogramm entwickelt. Es erzeugt Spuren aus dem Bereich des Wechselwirkungspunktes der **CJC**, die die 3 Zellen des **FSP** durchqueren. Der Spurverlauf ist so gewählt, daß er den Verhältnissen während der Testphase des Detektors entspricht. Der Winkel und der y-Achsenabschnitt (*Offset*) im Koordinatensystem der **CJC** (die z-Achse zeigt in Proton-Richtung; die x-y-Ebene entspricht der $r-\phi$ -Ebene) sind frei wählbar, wobei die Schrittweite im Winkel $\Delta\Phi = 0.1\text{Grad}$ beträgt. Die Spuren bestehen aus einzelnen Punkten mit einem Abstand, der kleiner als das Auflösungsvermögen der Kammer ist ($100\mu\text{m}$).

Auf der Basis der in Kapitel 2.2 gezeigten *Triggerlogik* wird die Anzahl der getroffenen *Drahtlagen* für jede Spur ermittelt. In Abbildung 2.10 ist das Ergebnis der Simulation für Spuren in einem Winkelbereich, der den gesamten **FSP** überstreicht, zu sehen.

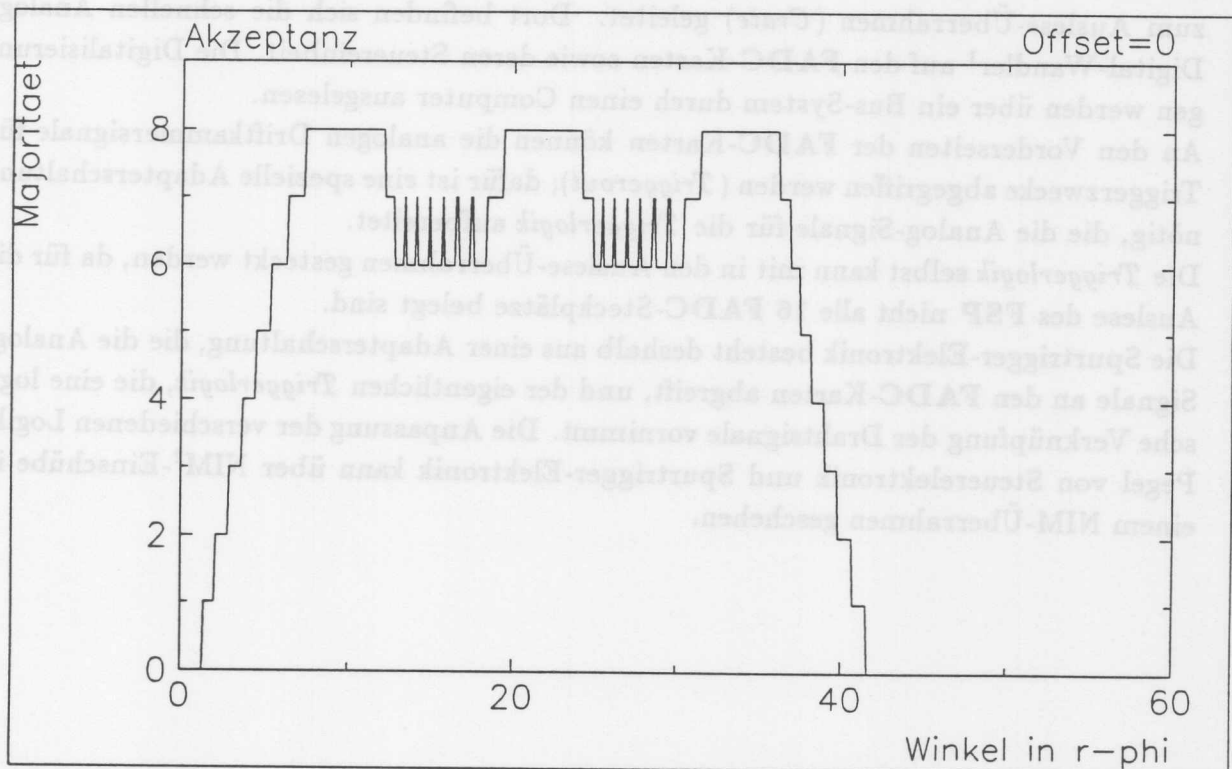


Abbildung 2.10: Ergebnis der Simulation von Spuren im **FSP**

Der *Offset* in y betrug 0.0cm . Im Verlauf der Zahl der getroffenen *Drahtlagen* spiegelt sich die periodische Zellstruktur der Kammer wieder. Da der **FSP** nur 3 der 30 Zellen der **CJC** hat, ist die Rotationssymmetrie gebrochen; an den Rändern des **FSP** nimmt die Zahl der getroffenen *Drahtlagen* deshalb ab. Der interessante Bereich liegt um die mittlere Zelle herum, da dort die Verhältnisse beim **FSP** und der **CJC** gleich sind. Die Zahl der getroffenen *Drahtlagen* ist dabei stets mindestens 5.

Für die Einstellung der *Triggerlogik* folgt, daß die Anzahl der erforderlichen *Drahtlagen*

für die Erzeugung eines Triggersignals nicht größer als 5 sein darf, um keine Spuren zu verlieren. Um auszuschließen, daß auf Spuren aus Bereichen außerhalb des Wechselwirkungspunktes getriggert wird, muß andererseits die Anzahl möglichst groß gewählt werden.

2.4 Die Randbedingungen für den Aufbau

Die Spurtrigger-Elektronik soll sich in das elektronische Auslese-System der **CJC** integrieren lassen. Dabei orientierte sich der Bau der Elektronik an den besonderen Gegebenheiten des **FSP**, da die **CJC** für die Testmessungen noch nicht zur Verfügung stand. Es wurde aber darauf geachtet, daß sich die Prinzipien und auch Teile der Elektronik später auch für einen Spurtrigger für die **CJC** verwenden lassen.

Das elektronische Auslese-System beginnt mit den Vorverstärkern, die sich direkt auf der Kammer befinden. Über Kabel werden die Driftkammer-Signale beider Drahtseiten zum Auslese-Überrahmen (*Crate*) geleitet. Dort befinden sich die schnellen Analog-Digital-Wandler¹ auf den **FADC**-Karten sowie deren Steuereinheit. Die Digitalisierungen werden über ein Bus-System durch einen Computer ausgelesen.

An den Vorderseiten der **FADC**-Karten können die analogen Driftkammersignale für Triggerzwecke abgegriffen werden (*Triggerout*); dafür ist eine spezielle Adapterschaltung nötig, die die Analog-Signale für die *Triggerlogik* aufbereitet.

Die *Triggerlogik* selbst kann mit in den Auslese-Überrahmen gesteckt werden, da für die Auslese des **FSP** nicht alle 16 **FADC**-Steckplätze belegt sind.

Die Spurtrigger-Elektronik besteht deshalb aus einer Adapterschaltung, die die Analog-Signale an den **FADC**-Karten abgreift, und der eigentlichen *Triggerlogik*, die eine logische Verknüpfung der Drahtsignale vornimmt. Die Anpassung der verschiedenen Logik-Pegel von Steuerelektronik und Spurtrigger-Elektronik kann über **NIM**²-Einschübe in einem **NIM**-Überrahmen geschehen.



Abbildung 2.10: Ergebnis der Simulation von Spuren im FSP

¹Flash-Analog-to-Digital-Converter (FADC)

²Nuclear-Instrument-Modules (NIM)

Kapitel 3

Der Bau des Spurtriggers

3.1 Die Spurtrigger-Elektronik

3.1.1 Abgriff und Aufbereitung der Signale

Die Vorverstärker zum Auslesen der Signaldrähte befinden sich direkt auf der Kammer. Jede Vorverstärkerkarte beinhaltet 8 Kanäle, so daß für die beidseitige Auslese der 24 Drähte einer FSP-Zelle 2×3 Karten nötig sind. Die bipolaren Analog-Signale haben eine maximale Amplitude von $\pm 2.0V$ und werden über Multikoaxial-Kabel zu den Auslese-Überrahmen (*Crate*) geleitet, indem sich die FADC-Karten befinden. Pro FADC-Karte werden 16 Kanäle, entsprechend 8 Signaldrähten, beidseitig digitalisiert. Eine spezielle Ausgangsschaltung auf den FADC-Karten stellt die bipolaren Analog-Signale an den Vorderseiten zur Verfügung (*Triggerout*). Für kleine Signale von einigen $100mV$ ist die Verstärkung nahe 1, so daß die Vorverstärker-Signale ungedämpft sind. Ihre maximale Amplitude beträgt $\pm 2.0V$ bei einer Ausgangsimpedanz von $2 \times 50\Omega$. Eine Beschreibung der Ausgangsschaltung befindet sich in Anhang A.1.

Um eine logische Verknüpfung der Signaldraht-Informationen im Sinne von Kapitel 2.2 vornehmen zu können, müssen die Analog-Signale in Digital-Signale verwandelt werden. Dazu wurde eine Adapterschaltung (*Triggeradapter*) entwickelt, die als Diskriminator mit einstellbarer Schwelle arbeitet und TTL¹-Pulse erzeugt. Da der Spurtrigger nur in der r - ϕ -Ebene arbeiten soll, spielt die z -Koordinate der Signalentstehung keine Rolle, entscheidend ist vielmehr, ob überhaupt ein Signal auf dem Draht entstanden ist. Der *Triggeradapter* addiert daher die Signale beider Drahtseiten. Die Signalsumme wird über ein RC²-Glied einem Komparator zugeführt, der sie mit einer einstellbaren Referenzspannung U_{int} vergleicht. Ist diese Summe höher als die Referenz, so wird ein Signal von $50ns$ Länge erzeugt. Durch die Differentiation des RC-Gliedes wird nur die ansteigende Signalflanke berücksichtigt, deshalb ist bei einer Driftgeschwindigkeit von $v_D = 53\mu m/ns$ eine Doppelspurtrennung von ca. $2.5mm$ zu erreichen. Allerdings fand diese Möglichkeit im Rahmen dieses Spurtriggers keine Anwendung. Jede Karte liefert somit eine Ja-Nein-Entscheidung über die Signale von 8 Drähten.

¹Transistor-Transistor-Logik (TTL)

²Resistor-Capacity (RC)

Durch die Fertigung der Schaltung in SMD³-Technik konnte eine Empfindlichkeit von etwa 2mV erreicht werden. Die Wirkung der internen Referenzspannung U_{int} auf die Schwelle für die Summe der Analog-Signale eines Drahtes läßt sich vermessen; der Meßaufbau ist in Anhang B.1 erklärt. Abbildung 3.1 zeigt die Eichkurve für Signale mit einer Anstiegszeit von $\tau_{rise} = 18\text{ns}$. Dieser Wert wurde gewählt, da er dem Mittelwert der Anstiegszeiten der Driftkammer-Signale entspricht. Die Schwelle kann im Bereich von $2 \dots 600\text{mV}$ variiert werden. Eine detaillierte Beschreibung der Schaltung des *Triggeradapters* sowie eine Fotografie befinden sich in Anhang B.1.

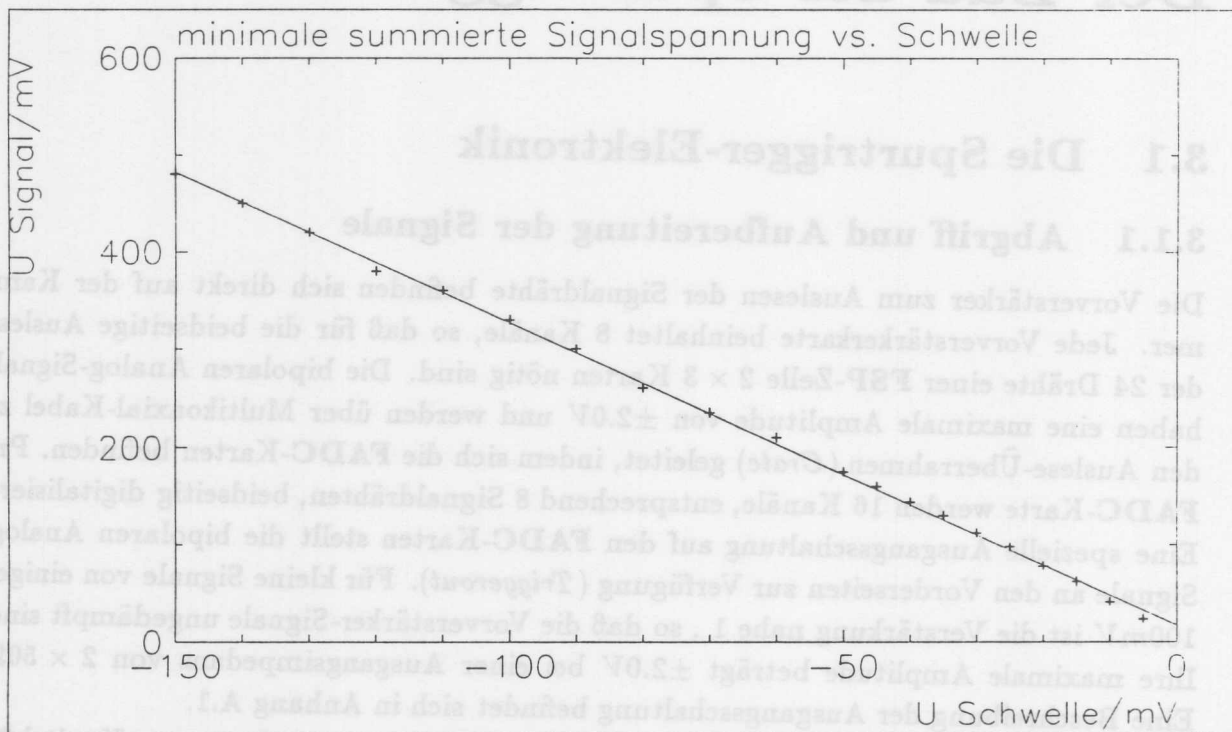


Abbildung 3.1: Eichkurve des Digitalen *Triggeradapters*

3.1.2 Die Triggerlogik

Die *Triggerlogik* besteht aus mehreren Teilen, die in dem Blockschaltbild Abbildung 3.2 gezeigt sind. Sie ist auf einer EUROPA⁴-Platine aufgebaut und läßt sich in den Auslese-Überrahmen an Stelle einer FADC-Karte einschieben. Die Betriebsspannung bezieht die *Triggerlogik* über das Bus-System auf der Rückwand. Sie bietet Anschlußmöglichkeiten für die 9 *Triggeradapter* aller 72 Signaldrähte des FSP. Um Leitungsverluste auszugleichen, werden die differentiellen Signale der *Triggeradapter* von Leitungsempfängern wieder auf TTL-Pegel gebracht. Dadurch besteht die Möglichkeit, Verbindungskabel bis zu 20m Länge zu verwenden. Ein Stecksystem erlaubt die Auswahl von

³Surface-Mounted-Device (SMD)

⁴EUROPA-Format: $160 \times 234\text{mm}^2$

3 × 8 aus 72 Drähten, die die *Triggerlogik* berücksichtigen soll. Je 3 Signale werden zu insgesamt 8 *Drahtlagen* durch ein logisches Oder verknüpft. Dieses System ermöglicht es, die mittleren 8 Signaldrähte jeder **FSP**-Zelle so zu verschalten, wie es in der Konzeption in Kapitel 2.2 beschrieben ist.

Wie in Kapitel 2.2 und 2.3 gezeigt wurde, ist unter Berücksichtigung der zeitverzögerten Signalentstehung, durch die Forderung nach einer Mindestzahl von getroffenen *Drahtlagen* eine Auswahl von Spuren aus dem Bereich des Wechselwirkungspunkt möglich. Deshalb werden die Signale der 8 *Drahtlagen* den Signalformern (*Shaper*) über eine schaltbare Verbindung (*Buffer*) zugeleitet. Dort werden sie auf die maximale Driftzeit von $1.1\mu\text{s}$ gedehnt, bevor eine *Majoritätslogik* eine Koinzidenz aus einer einstellbaren Anzahl von Signalen (1...8 aus 8) herstellt (*Majorität*). Das Ausgangssignal hat TTL-Pegel und kann über einen 50Ω -Leitungstreiber auf der Vorderseite der Karte abgegriffen werden. Der *Buffer* ist ebenfalls von außen steuerbar; mit seiner Hilfe kann die *Triggerlogik* aktiviert bzw. deaktiviert werden. Außerdem befinden sich auf der Vorderseite Kontroll-Möglichkeiten für Einstellung der *Majoritätslogik*. Mit einem Schalter kann die Zahl der geforderten getroffenen *Drahtlagen* (*Majorität*) eingestellt werden. Die Erzeugung eines Triggersignals sowie der Betriebszustand der *Triggerlogik* werden durch Leuchtdioden angezeigt. Eine Beschreibung der einzelnen Komponenten sowie deren Schaltung befindet sich in Anhang B.2.

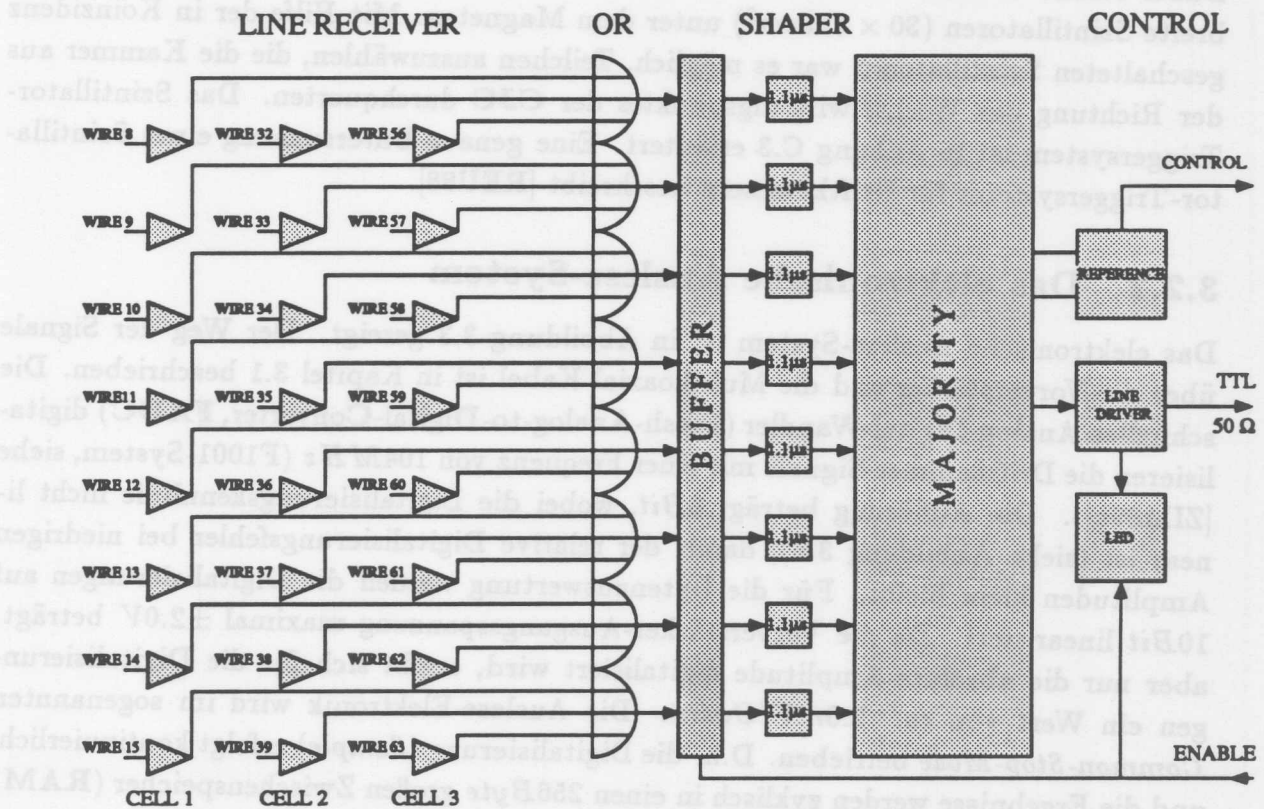


Abbildung 3.2: Blockschaltbild der *Triggerlogik*

3.2 Der Teststand mit dem Full-Size-Prototypen

3.2.1 Der Aufbau des Teststandes

Als Testkammer für den Spurtrigger stand der **FSP** im Teststrahlgebiet 22 der Experimentierhalle II bei **DESY** zur Verfügung.

Der Arbeitspunkt des **FSP** wurde wie bei den vorangegangenen Testläufen gewählt (siehe [SCH90b] und Tabelle C.1). Eine Beschreibung befindet sich in Anhang C. Einzelheiten sind aus [SCH90a] zu entnehmen. Da zur gleichen Zeit Testmessungen im Magnetfeld durchgeführt wurden ([RAU90]), befand sich die Kammer in einem Solenoid-Magneten (siehe Abbildung C.2). Dabei war sie so um ihre Längsachse gedreht, daß der vorgesehene Wechselwirkungspunkt (Mittelpunkt der **CJC**) und ein im **FSP** eingebautes Rohr zur Aufnahme eines schmalen Szintillators auf dem Einfallslot der Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung lagen (siehe Abbildung C.1).

Die Kupfer- und Eisenanteile des Magneten bilden eine Materialbelegung von 52.3 Strahlungslängen. Dadurch werden Elektronen und Photonen, die einen geringen Anteil der kosmischen Höhenstrahlung ausmachen, absorbiert. Kosmische Myonen mit Impulsen größer als $0.4\text{GeV}/c$ können den Magneten passieren. Der Einfluß auf das Impulsspektrum und Intensität sind ausführlich in [REU88] diskutiert.

Für die Steuerung der Auslese-Elektronik war ein Szintillator-Triggersystem installiert. Dabei befand sich ein schmaler Szintillator ($4 \times 130\text{cm}^2$) im Rohr des **FSP** und zwei breite Szintillatoren ($30 \times 130\text{cm}^2$) unter dem Magneten. Mit Hilfe der in Koinzidenz geschalteten Szintillatoren war es möglich, Teilchen auszuwählen, die die Kammer aus der Richtung des Wechselwirkungspunktes der **CJC** durchquerten. Das Szintillator-Triggersystem ist in Anhang C.3 erläutert. Eine genaue Untersuchung eines Szintillator-Triggersystems für Driftkammern beschreibt [REU88].

3.2.2 Das elektronische Auslese-System

Das elektronische Auslese-System ist in Abbildung 3.3 gezeigt. Der Weg der Signale über die Vorverstärker und die Multikoaxial-Kabel ist in Kapitel 3.1 beschrieben. Die schnellen Analog-Digital-Wandler (**Flash-Analog-to-Digital-Converter, FADC**) digitalisieren die Driftkammer-Signale mit einer Frequenz von 104MHz (F1001-System, siehe [ZIM89b]). Die Auflösung beträgt 8Bit , wobei die Digitalisierungskennlinie nicht linear ist (siehe Abbildung 3.4), damit der relative Digitalisierungsfehler bei niedrigen Amplituden klein bleibt. Für die Datenauswertung werden die Digitalisierungen auf 10Bit linearisiert. Da die Vorverstärker-Ausgangsspannung maximal $\pm 2.0\text{V}$ beträgt, aber nur die absolute Amplitude digitalisiert wird, ergibt sich für die Digitalisierungen ein Wert von ca. $2.0\text{mV}/\text{Count}$. Die Auslese-Elektronik wird im sogenannten *Common-Stop-Mode* betrieben. D.h. die Digitalisierung (*Sample*) erfolgt kontinuierlich, und die Ergebnisse werden zyklisch in einen 256Byte großen Zwischenspeicher (**RAM**) geschrieben. Sollen die Daten endgespeichert werden, wird der *Sample*-Vorgang unterbrochen und der Zwischenspeicherinhalt ausgelesen (Datentransfer). Während dieser

Zeit können keine weiteren Driftkammer-Signale digitalisiert werden; es entsteht eine Totzeit, die möglichst kurz gehalten werden muß. Deshalb geschieht der Datentransfer blockweise für 4 **FADC**-Kanäle parallel (32Bit) mit einer Frequenz von 16MHz über ein VME-Bussystem. Gespeichert werden nur Digitalisierungen, deren Amplituden über 15 Zählungen (*Counts*) liegen (*Null-Unterdrückung*). Da die Digitalisierungs-Kennlinie in diesem Bereich noch annähernd linear ist, entsprechen 15*Counts* (15 von 1024 = 2^{10}) in etwa 30mV. Das sind ca. 20% der mittleren Pulshöhe der Driftkammer-Signale von 160mV.

Für die Testphase am **FSP** stand ein *Scanner* (F1021, siehe [ZIM89c]) noch nicht zur Verfügung. Verwendet wurde stattdessen ein sogenannter *Mini-Controller*, der den Datentransfer zu einem Computer von Typ Apple MacIntosh II steuerte.

Die gesamte Auslese-Elektronik ist modular aufgebaut. Die Vorverstärker sind zu je 8 Stück auf den Vorverstärker-Karten zusammengefaßt. Je 16 Kanäle der **FADC** befinden sich auf einer Karte, so daß pro Karte 8 Signaldrähte beidseitig ausgelesen werden können; pro Zelle der **CJC** 1 bzw. des **FSP** sind daher 3 **FADC**-Karten nötig. Bis zu 16 **FADC**-Karten stecken zusammen mit einer Kontroll-Einheit in einem Überrahmen, auf dessen Rückwand die VME-Bus-Steckplätze und die Spannungsversorgung angeordnet sind.

Um den Zeitnullpunkt der Signale zu bestimmen, wurde eine modifizierte **FADC**-Karte mit schneller Zeit-Digital-Wandlern (**Flash-Time-to-Digital-Converter, FTDC**) (siehe [KLA89],[DUE89b]) verwendet.

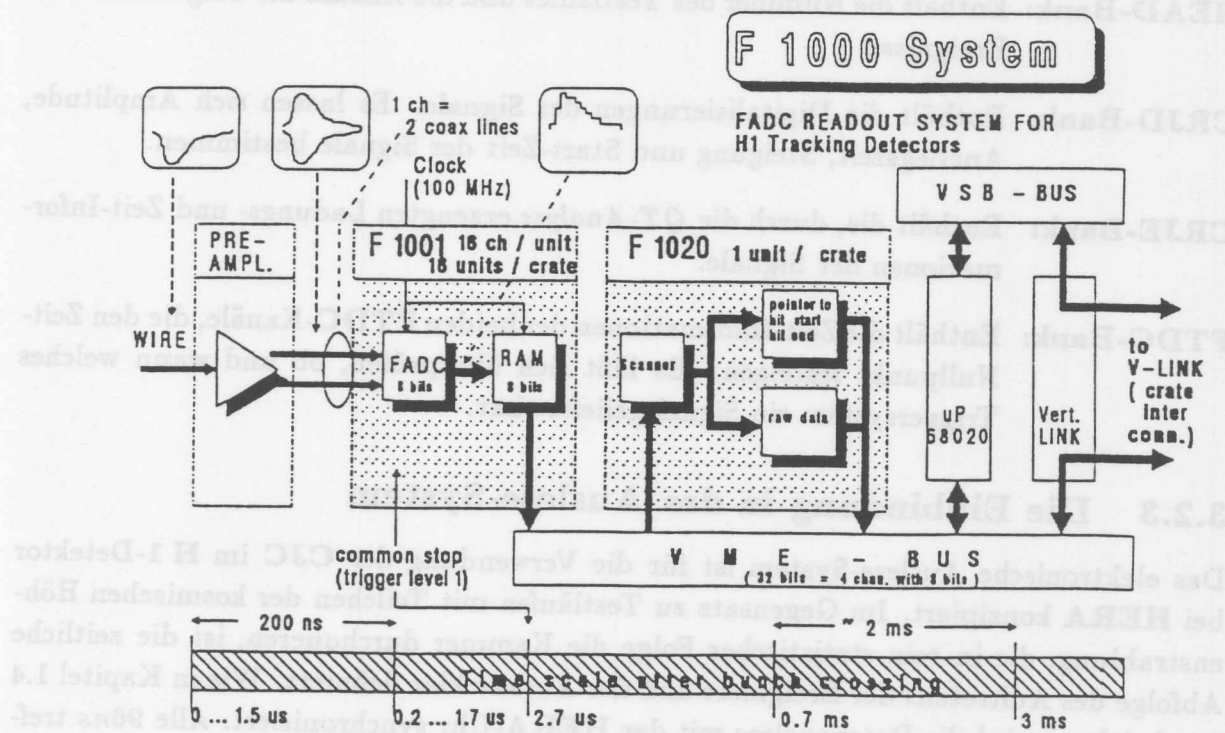


Abbildung 3.3: Das elektronische Auslese-System (aus [H1C88])

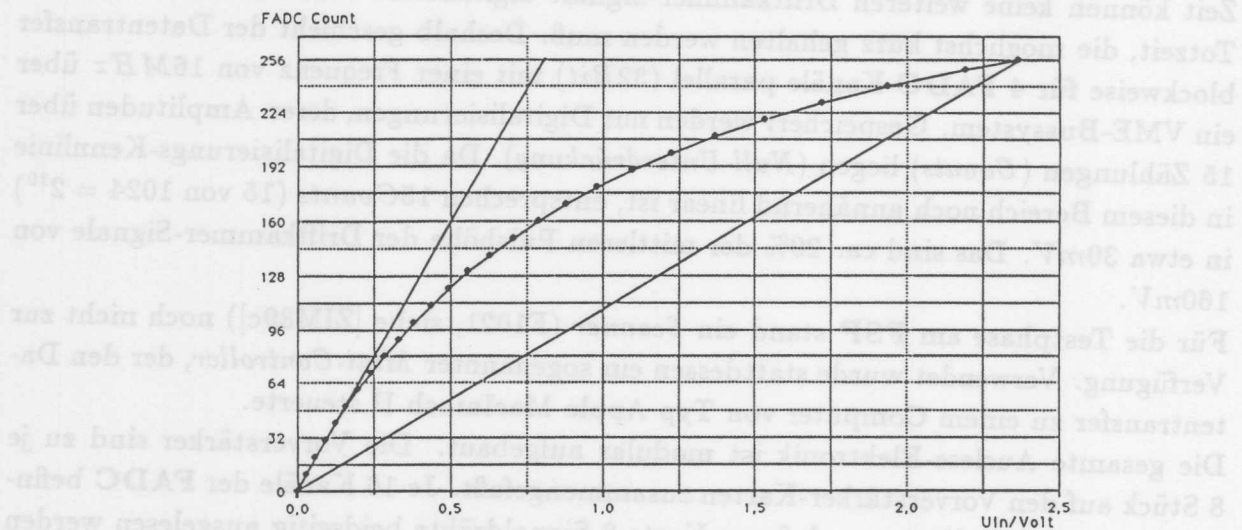


Abbildung 3.4: Die Digitalisierungskennlinie (aus [DUE89a])

Datenspeicherung

Die Daten der Testläufe liegen in **BOS**⁵-Datenbanken (siehe [BLO88]) gespeichert auf der **DESY-IBM 3090S** vor. Zu jedem Lauf gehört ein Satz von 4 **BOS**-Bänken:

HEAD-Bank: Enthält die Nummer des Testlaufes und die Anzahl der aufgezeichneten Ereignisse.

CRJD-Bank: Enthält die Digitalisierungen der Signale. Es lassen sich Amplitude, Anstiegszeit, Steigung und Start-Zeit der Signale bestimmen.

CRJE-Bank: Enthält die, durch die *QT-Analyse* erzeugten Ladungs- und Zeit-Informationen der Signale.

FTDC-Bank: Enthält die Zeit-Informationen der beiden **FTDC**-Kanäle, die den Zeit-Nullpunkt festlegen. Es läßt sich überprüfen, ob und wann welches Triggersystem ein Signal geliefert hat.

3.2.3 Die Einbindung in das Auslese-System

Das elektronische Auslese-System ist für die Verwendung der **CJC** im **H 1**-Detektor bei **HERA** konzipiert. Im Gegensatz zu Testläufen mit Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung, die in rein statistischer Folge die Kammer durchqueren, ist die zeitliche Abfolge des Auftretens der Ereignisse und der Auslese klar definiert. Wie in Kapitel 1.4 beschrieben, wird die Datenauslese mit der **HERA-Uhr** synchronisiert. Alle $96ns$ treffen die Teilchenpakete am Wechselwirkungspunkt im **H 1**-Detektor aufeinander (*bunch*

⁵Bank-Operating-System (BOS)

crossing), und es ist ein Ereignis möglich. Das H 1-Triggersystem trifft zu jedem *bunch crossing* eine Entscheidung, ob ein Ereignis stattgefunden hat, das aufgezeichnet werden soll. Dabei wird berücksichtigt, daß die Signale in einigen Detektorkomponenten mit Verzögerung entstehen. Der *Controller* bietet daher nur die Möglichkeit des prompten Auslese-Stops. Er liefert ein *Veto-Signal*, wenn die Datenübertragung zum Computer abgeschlossen ist.

Für die Verwendung von anderen Triggersystemen wie Szintillatoren oder Spurtrigger muß deshalb eine Kontroll-Einheit (*Timing Unit*) die zeitliche Abfolge regeln.

Am FSP-Teststand arbeitet die Auslese-Elektronik im *Common Stop* Modus (siehe Kapitel 3.2.1). Die *Timing Unit* sorgt dafür, daß der *Sample-Vorgang* frühestens $1.1\mu\text{s}$ nach dem Erscheinen eines Triggersignals gestoppt wird. Dadurch ist gewährleistet, daß alle Elektronen der Ionisationen zu den Signaldrähten gedriftet sind und digitalisiert werden können. Nach Beendigung der Datenübertragung zum Computer wird der *Sample-Vorgang* erneut gestartet; das *Veto-Signal* des *Controllers* verschwindet. Bevor ein neues Triggersignal zugelassen wird, muß mindestens $2.56\mu\text{s}$ gewartet werden, damit die Digitalisierungen des vorangegangenen Ereignisses aus dem Zwischenspeicherinhalt gelöscht sind. Abbildung C.6 zeigt die zeitliche Abfolge der Steuersignale.

In Anhang C.2 ist der Aufbau der *Timing Unit* beschrieben. Sie wurde aus NIM⁶-Modulen in einem eigenen Überrahmen aufgebaut. Da der Spurtrigger mit TTL-Pegeln arbeitet, ist eine Anpaßung der Signale auf NIM-Pegel nötig. Dies geschieht durch Einschübe im NIM-Überrahmen.

Die *Triggerlogik* wurde in einen freien FADC-Steckplatz geschoben und bezog ihre Betriebsspannung aus dem Auslese-Überrahmen. Da nur die mittleren 8 Signaldrähte jeder FSP-Zelle zum Triggern ausgelesen wurden, waren auch nur die 3 entsprechenden *Triggeradapter* auf die FADC-Karten aufgesteckt. Die Zuleitung der Signale erfolgte über ca. 1m lange Kabel mit paarweise verdrehten Leitungen zur *Triggerlogik*. Das Signal des Szintillator-Triggersystems und der Spurtrigger waren zur Zeitbestimmung an einen eigenen FTDC-Kanal angeschlossen. Der Aufbau ließ zwei Betriebsarten zu:

- Das Szintillator-Triggersystem konnte als Haupttrigger fungieren und die Datenauslese steuern. Dabei arbeitete der Spurtrigger parallel mit; sein Triggersignal wurde, falls vorhanden auf seinem FTDC-Kanal aufgezeichnet.
- Der Spurtrigger arbeitete als Haupttrigger und übernahm die Steuerung der Datenauslese.

Für die verschiedenen Testmessungen, die in Kapitel 4 ausführlich beschrieben und ausgewertet werden, wurde je nach Fragestellung eine der beide Betriebsarten verwendet. Für einige spezielle Untersuchungen wurde der Spurtrigger dahingehend modifiziert, daß statt der 3×8 Drähte aller Zellen nur 8 Drähte einer Zelle berücksichtigt wurden. Durch das Stecksystem, das die Drahtzuordnung zu den *Drahtlagen* vornimmt, war diese Änderung leicht zu bewerkstelligen. Die Verschaltung der einzelnen Komponenten ist in Abbildung 3.5 und Anhang B und C beschrieben.

⁶Nuclear-Instrument-Modules (NIM)

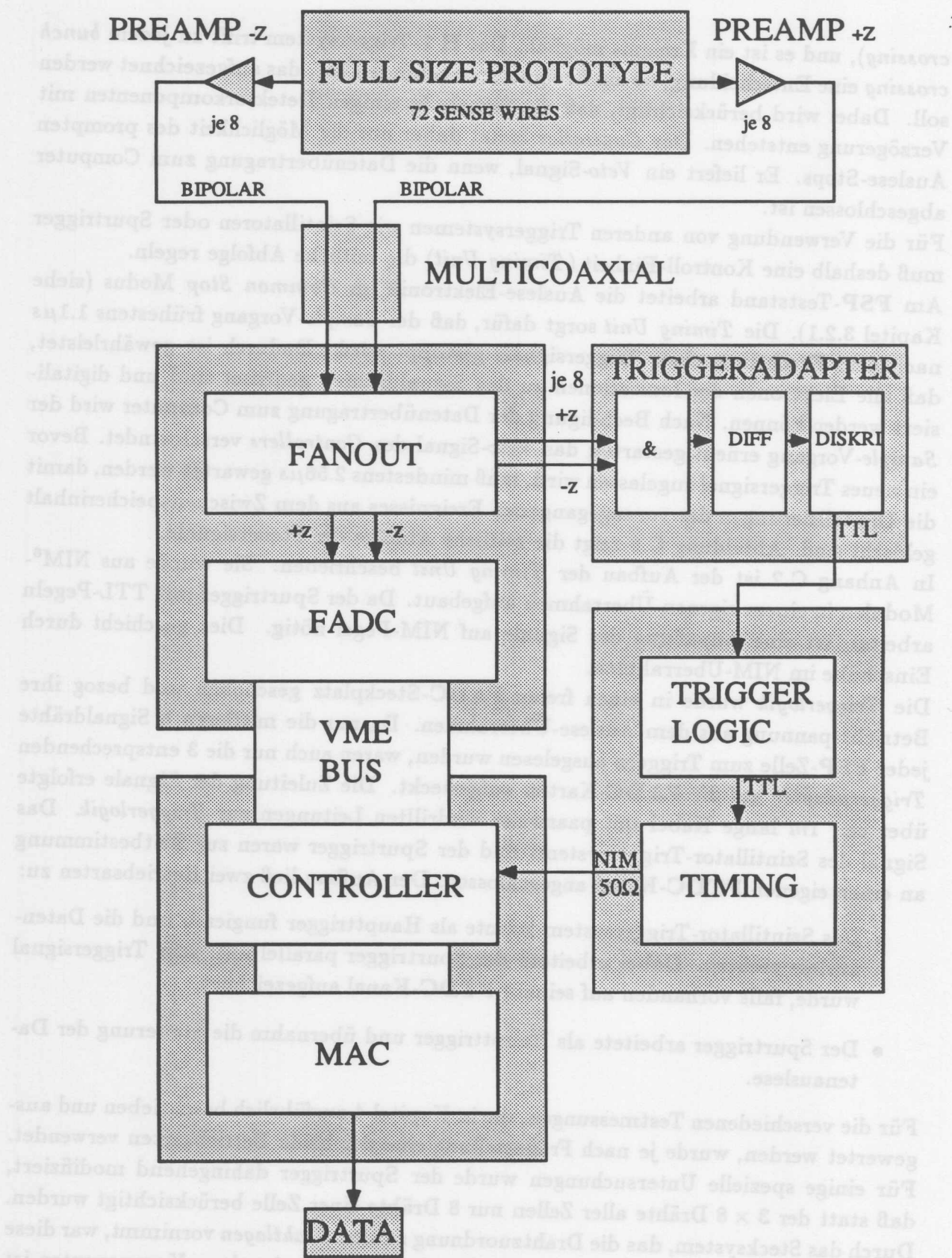


Abbildung 3.5: Die Einbindung der Spurtrigger-Elektronik

Kapitel 4

Testmessungen und Auswertung

4.1 Das Meßprogramm

Mit dem beschriebenen Spurtrigger wurden Testmessungen durchgeführt, um quantitative Aussagen über seine Funktionstüchtigkeit zu machen. Als Teilchenquelle diente die kosmische Höhenstrahlung.

Die beiden entscheidenden Größen für den Betrieb des Spurtriggers sind:

- Die Ansprechwahrscheinlichkeit auf Spuren von Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung, die den Bereich des Wechselwirkungspunktes schneiden und die Kammer radial durchqueren. Diese Ansprechwahrscheinlichkeit sollte möglichst nahe 1 sein.
- Die Ansprechwahrscheinlichkeit auf Ereignisse ohne verwertbare Spuren. Das sind Spuren, die nicht den Bereich des Wechselwirkungspunktes durchqueren, Störungen aller Art oder zufällig erzeugte Signale. Diese Ansprechwahrscheinlichkeit bestimmt den Anteil der nicht verwertbaren Ereignisse und sollte möglichst klein sein.

Die beiden Parameter, die die Ansprechwahrscheinlichkeiten bestimmen, sind die Diskriminatorschwelle des *Triggeradapters* und die Einstellung der *Majoritätslogik*. Ziel der Untersuchung war es, die Parameter-Einstellungen zu optimieren, insbesondere im Hinblick auf eine Erweiterung des Spurtriggers für die **CJC** (Kapitel 5).

Außerdem wurden noch folgende Meßgrößen untersucht:

- Allgemeine Eigenschaften der Driftkammersignale, die für den Betrieb des Spurtriggers wichtig sind.
- Die Driftzeit-Verteilung der Signale auf den Triggerdrähten zur Überprüfung der richtigen Einstellung der Zeitfenster.
- Die Zeitinformation aus den Spurtrigger-Signalen, die im Gegensatz zu denen eines Szintillator-Triggersystems zeitlich verzögert entstehen.

Diskriminatorschwelle

Ein ionisierendes Teilchen verliert beim Durchqueren des Gasvolumens einen Teil seiner Energie. Die statistische Natur des Ionisationsvorganges spiegelt sich in der Form des Pulsladungsspektrums wieder. Es ist *Landau*-verteilt ([SAU77]). Der Mittelwert der über beide Drahtseiten summierten Pulshöhen lag bei früheren Testmessungen bei 320mV ([SCH90c]). Die mittlere Anstiegszeit der Pulse ist 18ns ([SCH88]). Um Rauschsignale von Drähten und Vorverstärkern zu unterdrücken, wird üblicherweise ein Diskriminator mit einer Schwelle bei ca. 10% der mittleren Pulshöhe verwendet. Dem Diskriminator auf dem *Triggeradapter* ist ein Differenzierglied vorgeschaltet; die Wirkung der eingestellten Schwelle hängt daher nicht nur von der Höhe, sondern auch von der Steigung der Signale ab. Dabei definiert sich die Steigung der Signale als der Quotient der Differenz des 90%- und des 10%-Punktes der Pulsamplitude und der dazugehörigen Zeitdifferenz (Anstiegszeit τ_{rise}).

Zur direkten Bestimmung dieser Abhängigkeit wurde mit Testpulsen, deren Anstiegszeit der mittleren Anstiegszeit der Driftkammersignale entsprach, eine Eichkurve aufgenommen (siehe Abbildung 3.1). Dieses Verfahren erlaubt eine Abschätzung der Wirkung der Schwelle. Für eine optimale Einstellung der Diskriminatorschwelle wird die Information benötigt, an welcher Stelle der Pulshöhen-Verteilung tatsächlich eingeschnitten wird. Zur Untersuchung dieser Abhängigkeit wurden Testläufe durchgeführt, aus deren Daten eine Pulshöhenverteilung als Funktion der Schwelle errechnet werden konnte.

Einstellung der Majoritätslogik

Durch die *Majoritätslogik* wird eine Spur definiert (siehe Kapitel 2.1). Es wird festgelegt, wieviele *Drahtlagen* innerhalb des gesetzten Zeitfensters getroffen werden müssen, um ein Triggersignal zu erzeugen. Aus der Simulation der *Triggerlogik* (siehe Kapitel 2.1) ergibt sich für alle Spuren, die den Bereich des Wechselwirkungspunktes radial durchqueren, daß mindestens 5 *Drahtlagen* getroffen werden. Für die meisten Spuren liegt diese Zahl sogar deutlich höher. Spuren, die senkrecht zur radialen Richtung einfallen oder nur einen Teil der Kammer streifen, treffen deutlich weniger (maximal 3) *Drahtlagen*. Zufallssignale treten im allgemeinen immer nur auf einem Draht auf. Für die Testläufe wurden verschiedene Einstellungen der *Majoritätslogik* gewählt.

Testläufe

Um die genannten Größen zu ermitteln, wurden mit den verschiedenen Einstellungen der Parameter drei Gruppen von Testläufen durchgeführt.

- Für die Bestimmung der Verteilungen von Pulshöhen und Steigungen als Funktion der Diskriminatorschwelle wurden Testläufe durchgeführt, bei denen die Auslese-Elektronik vom Spurtrigger gesteuert wurde.
- Für die Bestimmung der Ansprechwahrscheinlichkeit auf Spuren als Funktion der Diskriminatorschwelle und *Majoritätslogik* diente das Szintillator-Triggersystem

als Referenz. Es übernahm für verschiedene Szintillator-Anordnungen (siehe Kapitel 3.2) als Haupttrigger die Steuerung der Auslese-Elektronik. Der Spurtrigger arbeitete parallel mit. Sein Signal wurde, falls vorhanden, auf einem FTDC-Kanal aufgezeichnet. Aus diesen Daten ließen sich zusätzlich einige allgemeine Aussagen über die Driftkammersignale gewinnen.

- Die Ausbeute an Ereignissen mit verwertbaren Spuren ließ sich durch die Verwendung des Spurtriggers als Haupttrigger bestimmen. Dazu wurden Testläufe durchgeführt, bei denen dieser Trigger die Steuerung der Auslese-Elektronik übernahm.

Die aufgenommenen Roh-Daten der Testläufe und die Ergebnisse der *QT-Analyse* ([STE90]) wurden mit dem Datenbank-System BOS (siehe Kapitel 3.2 und [BLO88]), das einen schnellen Zugriff bei den weiteren Auswertungen zuließ, abgespeichert. Für die Auswertung wurden Programme in der Programmiersprache FORTRAN VS (Version Siemens) entwickelt, die das Bankformat EPIO verarbeiten können und das Analysepaket LOOK (siehe [BLO90]) verwenden.

4.2 Die Auswertung der Meßergebnisse

4.2.1 Allgemeine Meßgrößen der Driftkammersignale

Aus den mit dem Szintillator getriggerten Testläufen lassen sich einige allgemeine Größen der Driftkammer-Signale bestimmen. Betrachtet wurden nur die $3 \cdot 8 = 24$ Signaldrähte, welche die Spurtrigger-Elektronik ausliest. Die Histogramme basieren auf ca. 43.000 Ereignissen aus 31 Läufen.

Verteilung der Driftzeiten

In Abbildung 4.1 sind die Driftzeiten t_D der Signale als Ergebnis der *QT-Analyse* histogrammiert. Die Driftzeit ist auf den Zeit-Nullpunkt des Szintillator-Triggers korrigiert. Der maximale Driftweg der mittleren 8 Drähte einer Zelle beträgt ca. 4cm, daraus ergibt sich bei einer Driftgeschwindigkeit von $v_D = 53 \mu\text{m}/\text{ns}$ ([RAU90]) eine maximale Driftzeit von ca. 800ns. Die Verteilung der Driftzeiten zeigt, daß die Länge des Zeitfensters der Spurtrigger-Elektronik mit $1.1 \mu\text{s}$ richtig gewählt ist.

Verteilung der Anstiegszeiten

In Abbildung 4.2 sind die Anstiegszeiten τ_{rise} der digitalisierten Signale in 10ns breiten Bins histogrammiert. Sie berechnen sich aus den Zeitdifferenzen zwischen dem Erreichen des 10%- und des 90%-Punktes der ansteigenden Flanke des Signals ([SCH88]). Die mittlere Anstiegszeit liegt bei $\hat{\tau}_{rise} = 18\text{ns}$.

Verteilung der Pulshöhen

In Abbildung 4.3 sind die Pulshöhen U in Einheiten von $1mV$ der digitalisierten Signale histogrammiert, wobei über beide Drahtseiten summiert wurde. Das Strich-Histogramm enthält alle Signale, bei dem durchgezogenen Histogramm wurde nur der jeweils höchste Puls pro Signaldraht berücksichtigt. Die Null-Unterdrückung der FADCs schneidet die Verteilungen bei 15 Einträge ($Counts$) $\approx 30mV$ ab. Beide Histogramme unterscheiden sich hauptsächlich bei den kleinen Pulshöhen, die von den Nachschwingern stammen. Die mittlere Pulshöhe \hat{U} liegt bei etwa $320mV$ und entspricht den Ergebnissen von [SCH90c].

Verteilung der Steigungen

In Abbildung 4.4 sind die Steigungen S der ansteigenden Signalflanke (*leading edge*) in Einheiten von $1mV/ns$ histogrammiert. Das Strich-Histogramm enthält die Steigungen aller Signale, während das durchgezogene Histogramm nur den Puls mit der jeweils größten Steigung pro Signaldraht berücksichtigt. Die Nachschwinger zeichnen sich durch eine kleine Steigung aus. Die mittlere Steigung pro Drahtseite beträgt etwa $\hat{S}/2 = 9mV/ns$. Das ist mit den Werten für die mittlere Pulshöhe pro Drahtseite von $\hat{U}/2 = 160mV$ und einer mittleren Anstiegszeit von $\hat{\tau}_{rise} = 18ns$ verträglich.

In Anhang C sind noch weitere gemessene Signal-Meßgrößen aufgeführt.

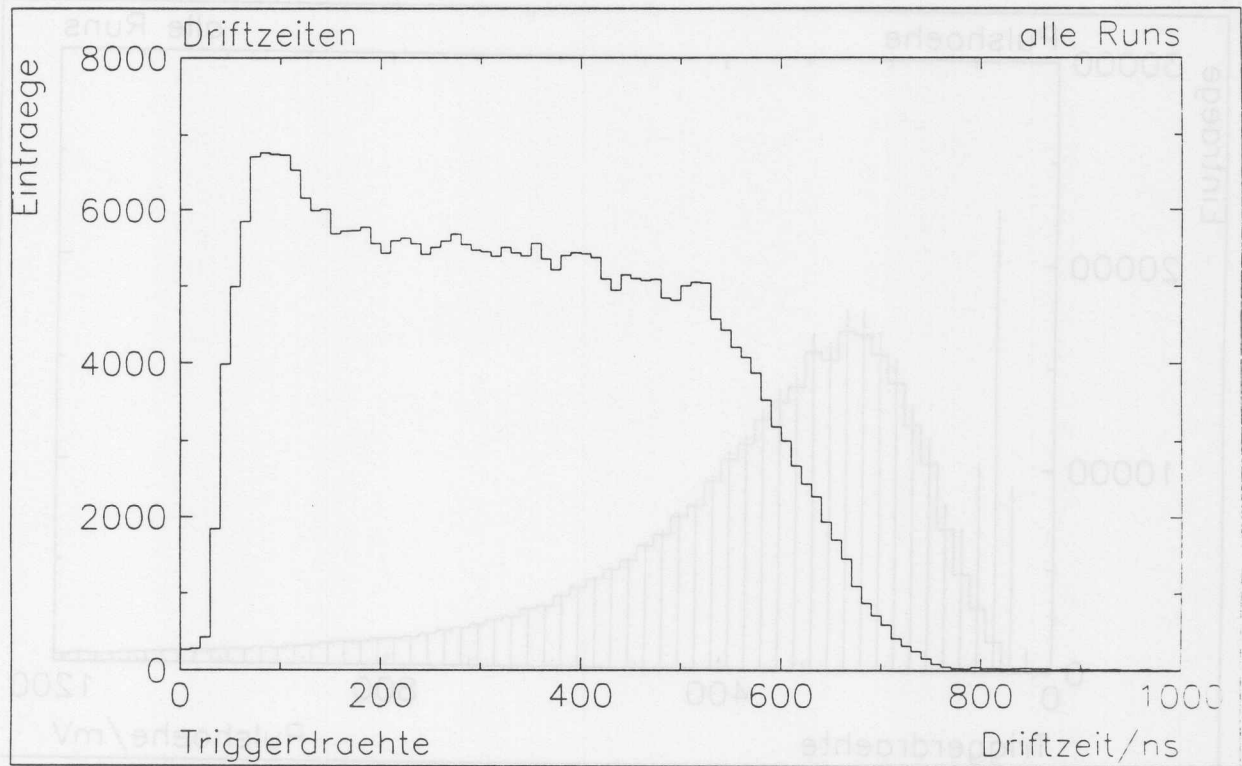


Abbildung 4.1: Verteilung der Driftzeiten t_D

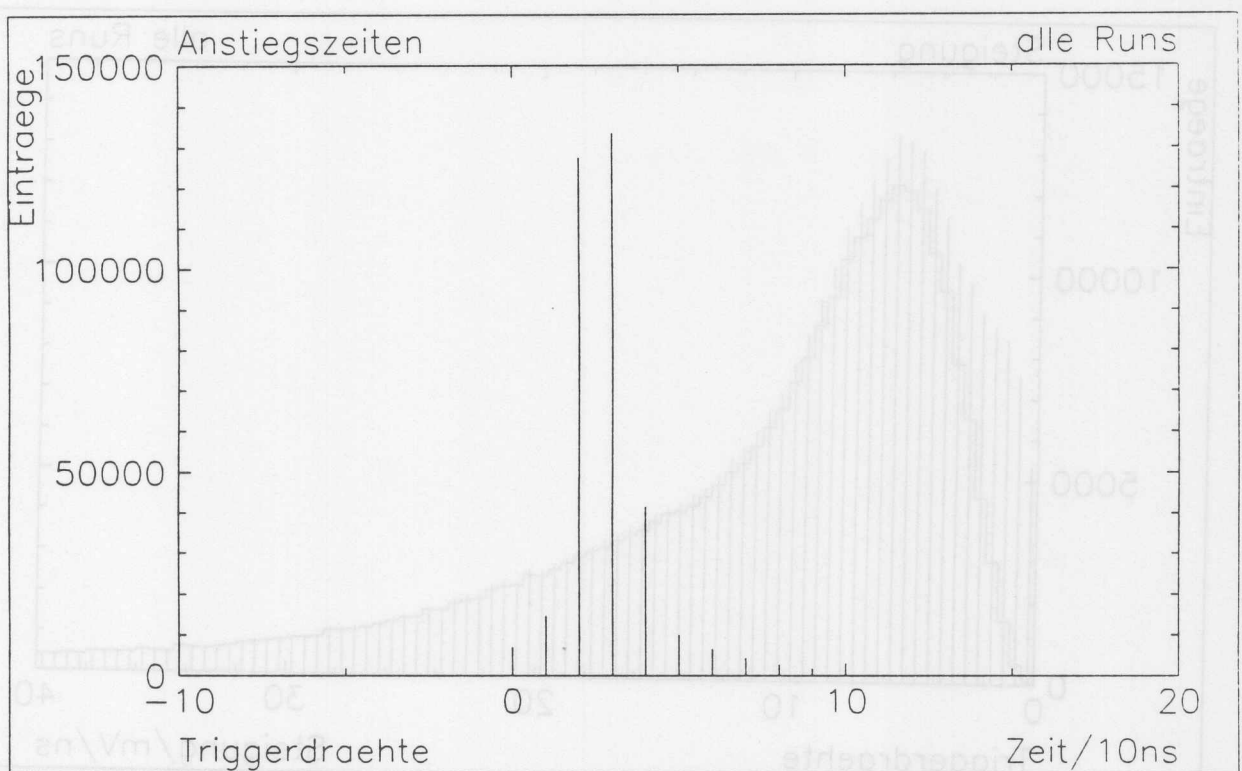


Abbildung 4.2: Verteilung der Anstiegszeiten τ_{rise}

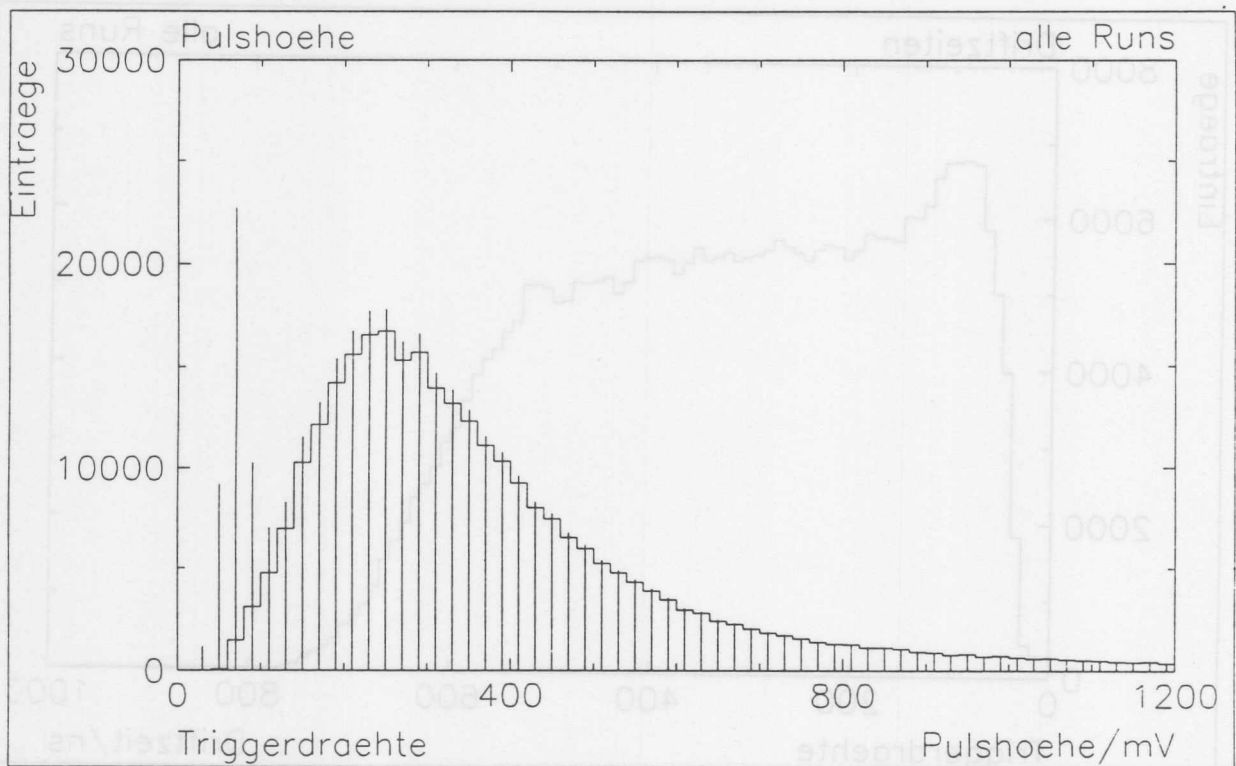


Abbildung 4.3: Verteilung der Pulshöhen U

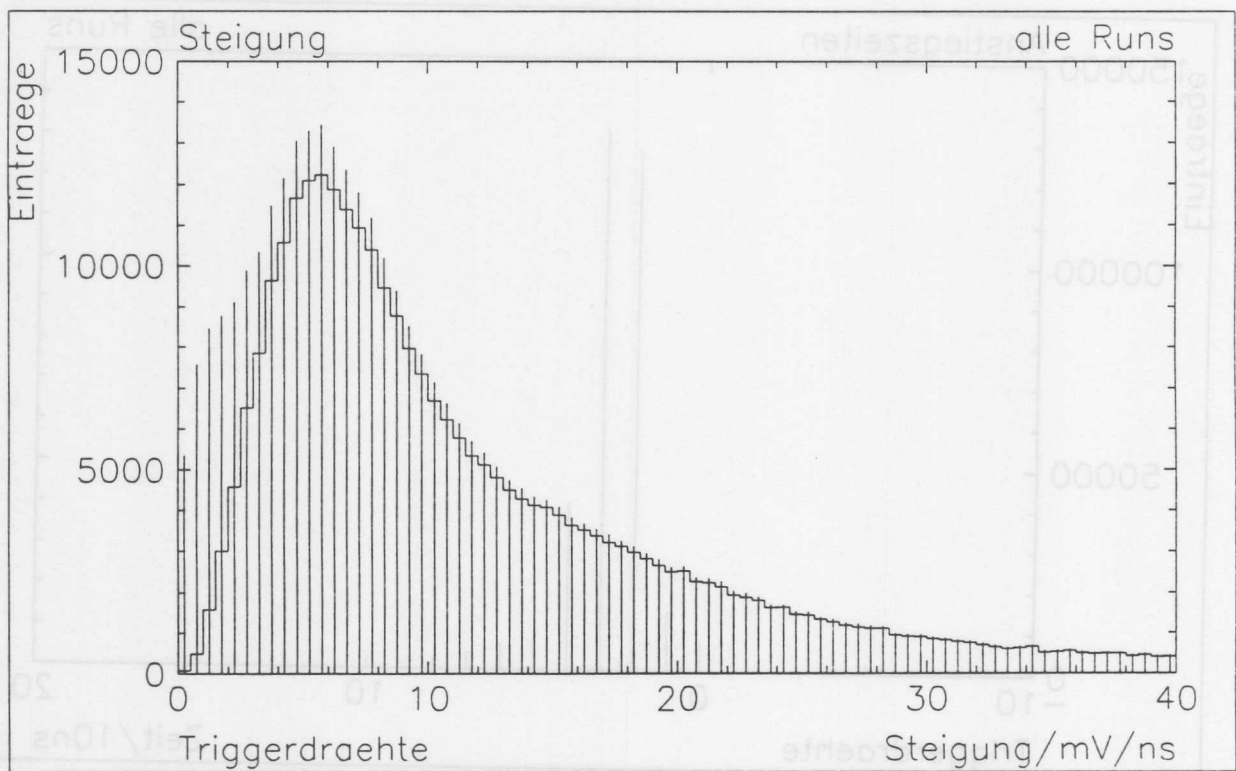


Abbildung 4.4: Verteilung der Steigungen S

4.2.2 Die Diskriminatorschwelle

Zur Untersuchung der Wirkung der Diskriminatorschwelle auf die Verteilungen der Pulshöhen und Steigungen wurden 7 Testläufe durchgeführt, bei denen die Einstellung einen direkten Einfluß auf die Pulshöhe und die Steigung der aufgezeichneten Ereignisse hatte.

Die Steuerung der Auslese-Elektronik übernahm der Spurtrigger. Die in Abbildung 2.6 gezeigte logische Oder-Verknüpfung von je 3 Signaldrähten in einer *Drahtlagen* läßt keinen eindeutigen Rückschluß darüber zu, welche Signale das Spurtrigger-Signal ausgelöst haben. Für die Bestimmung der minimalen Pulshöhe und Steigung ist diese Information aber unerlässlich, deshalb wurde bei diesen Testläufen auf die Verknüpfung von je 3 Signaldrähten verzichtet. Die Spurtrigger-Elektronik las nur die mittleren 8 Signaldrähte einer Zelle aus, und die *Majoritätslogik* war so eingestellt, daß alle 8 Drähte getroffen werden mußten, um ein Triggersignal zu erzeugen. Digitalisiert und gespeichert wurden nur Ereignisse, bei denen die Pulse aller 8 Drähte die eingestellte Diskriminatorschwelle überschritten. Die Verteilungen ließen sich aus den Digitalisierungen der Signale der 8 Drähte erzeugen. Da teilweise Mehrfachtreffer auftraten, wurden nur die **größten** Pulse auf jedem Draht betrachtet. Dadurch ergab sich zu jedem Ereignis ein Satz von 8 **größten** Pulsen, die sicher alle über der Schwelle lagen. Zur quantitativen Bestimmung der tatsächlichen Schwelle wurden Histogramme mit der jeweils **kleinsten** Pulshöhe bzw. Steigung dieser 8 Pulse für jedes Ereignis gefüllt. Die ansteigende Flanke der Histogramme wurde angepaßt, indem durch 5 Punkte um den 50% -Punkt des Maximums der Einträge eine Ausgleichsgerade gelegt und der Schnittpunkt mit der Abszisse bestimmt wurde (siehe Abbildung 4.5 bis 4.8). Dieser Wert sollte die tatsächlich durch den Diskriminator erzeugte Schwelle für die Pulshöhe und Steigung definieren. Um eine möglichst große Ereignisrate zu erhalten, wurde für die Testläufe die Zelle 3 gewählt, weil sie fast parallel zum Einfallslot der kosmischen Höhenstrahlung steht, deren Intensität dort am größten ist (Tabelle 4.1).

Die Einstellung des Diskriminators wird durch seine einstellbare interne Referenzspannung U_{int} beschrieben.

$U_{int}[mV]$	Rate[Hz]
-5.0	10.5 ± 0.2
-10.0	10.1 ± 0.2
-17.0	8.8 ± 0.2
-25.0	5.7 ± 0.1
-40.0	2.0 ± 0.1
-50.0	1.1 ± 0.1
-60.0	0.60 ± 0.04

Tabelle 4.1: Zählraten für Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung

Weitere Größen sind:

U_{Eich} : Schwelle der Pulshöhe aus der Eichkurve

U_{Fit} : Schwelle der Pulshöhe aus der Anpassungsrechnung

U_{Start} : Beginn der Pulshöhen-Verteilung

\hat{U} : Mittlere Pulshöhen ($\hat{U} = 320mV$)

S_{Eich} : Schwelle der Steigung aus der Eichkurve ($S_{Eich} = U_{Eich}/\tau_{rise}$)

S_{Fit} : Schwelle der Steigung aus der Anpassungsrechnung

\hat{S} : Mittlere Steigung ($\hat{S} = 17.8mV/ns$)

Die Ergebnisse der Testläufe sind in Tabelle 4.2 und 4.3 aufgeführt. Die Abbildungen 4.5 und 4.6 zeigen die Pulshöhen-Verteilungen für eine kleine und eine große Diskriminatorschwelle. In den Abbildungen 4.7 und 4.8 sind die Verteilungen der Steigungen gezeigt.

$U_{int}[mV]$	$U_{Eich}[mV]$	$U_{Fit}[mV]$	$U_{Start}[mV]$	$U_{Fit}/\hat{U}[\%]$
-5.0	32.6	86.04	40.0	26.9
-10.0	48.1	85.25	40.0	26.6
-17.0	69.8	96.11	80.0	30.0
-25.0	94.6	126.02	100.0	39.4
-40.0	141.1	175.51	160.0	54.8
-50.0	172.1	216.40	200.0	67.6
-60.0	203.1	249.82	240.0	78.1

Tabelle 4.2: Diskriminatorschwelle aus den Pulshöhen-Histogrammen

$U_{int}[mV]$	$S_{Eich}[mV/ns]$	$S_{Fit}[mV/ns]$	$S_{Fit}/\hat{S}[\%]$
-5.0	1.7	0.64	3.6
-10.0	2.8	0.82	4.6
-17.0	3.9	1.33	7.5
-25.0	5.3	1.82	10.2
-40.0	7.8	3.31	18.6
-50.0	9.4	4.06	22.8
-60.0	11.1	4.92	27.7

Tabelle 4.3: Diskriminatorschwelle aus den Steigungs-Histogrammen

Ein Vergleich der Spalten U_{Eich} mit U_{Fit} in Tabelle 4.2 zeigt:

Die aus den Pulshöhen-Histogrammen bestimmten Werte weichen von denen der Eichkurve in Abbildung 3.1 ab. Bei den beiden kleinen Schwellen ($U_{int} = -5.0mV$ und $-10.0mV$) schneidet die Ausgleichsgerade die Abszisse nicht am Beginn der Verteilung, die bei ca. $30mV$ liegt und der *Null-Unterdrückung* des **FADC**-Systems von 15 *Counts*

entspricht. Die Anpassungsrechnung scheint für diese Einstellungen falsche Werte für die tatsächliche Schwelle zu liefern. Das gleiche gilt für die Auswertung der Steigungshistogramme. Hier liegen die Werte unter den aus der Eichkurve berechneten (siehe Tabelle 4.3). Es ist zu vermuten, daß die beiden niedrigen Schwellen noch im Bereich der *Null-Unterdrückung* liegen, also den aus der Eichkurve bestimmten Werten in etwa entsprechen. Erst bei den Testläufen mit höheren Schwellen ($U_{int} \geq -17.0mV$) verschwindet dieser Effekt und die Ausgleichsgerade schneidet die Abszisse am Anfang der Verteilung, wenn auch dort die ermittelten Schwellen für die Pulshöhe und die Steigung zu hoch erscheinen.

Für die Testläufe wurde deshalb eine Grundeinstellung mit Hilfe der in den **FSP** eingebauten γ -Quellen aus ^{55}Fe vorgenommen. Die Zählraten des *Triggeradapters* von Pulsen der Quelle wurde mit der Zählraten eines Standard-Diskriminators (NIM-Einschub mit einer Schwelle von $30mV$) in Übereinstimmung gebracht. Für die interne Referenzspannung (siehe Kapitel 3.1) ergab sich ein Wert von $U_{int} = -10.0mV$, der laut Eichkurve (Abbildung 3.1) einer Schwelle von $50mV \approx 16\%$ der mittleren Pulshöhe U_{Mittel} entspricht. Die Rauschgrenze wurde etwas unterhalb von $U_{int} = -5.0mV$ erreicht und machte sich durch einen sprunghaften Anstieg der Zählraten bemerkbar. Für die weiteren Testläufe wurden folgende Einstellungen des Diskriminators U_{int} gewählt:

- $U_{int} = -5.0mV$, knapp oberhalb der Rauschgrenze
- $U_{int} = -10.0mV$, Zählrate wie am $30mV$ Standard-Diskriminator
- $U_{int} = -17.0mV$

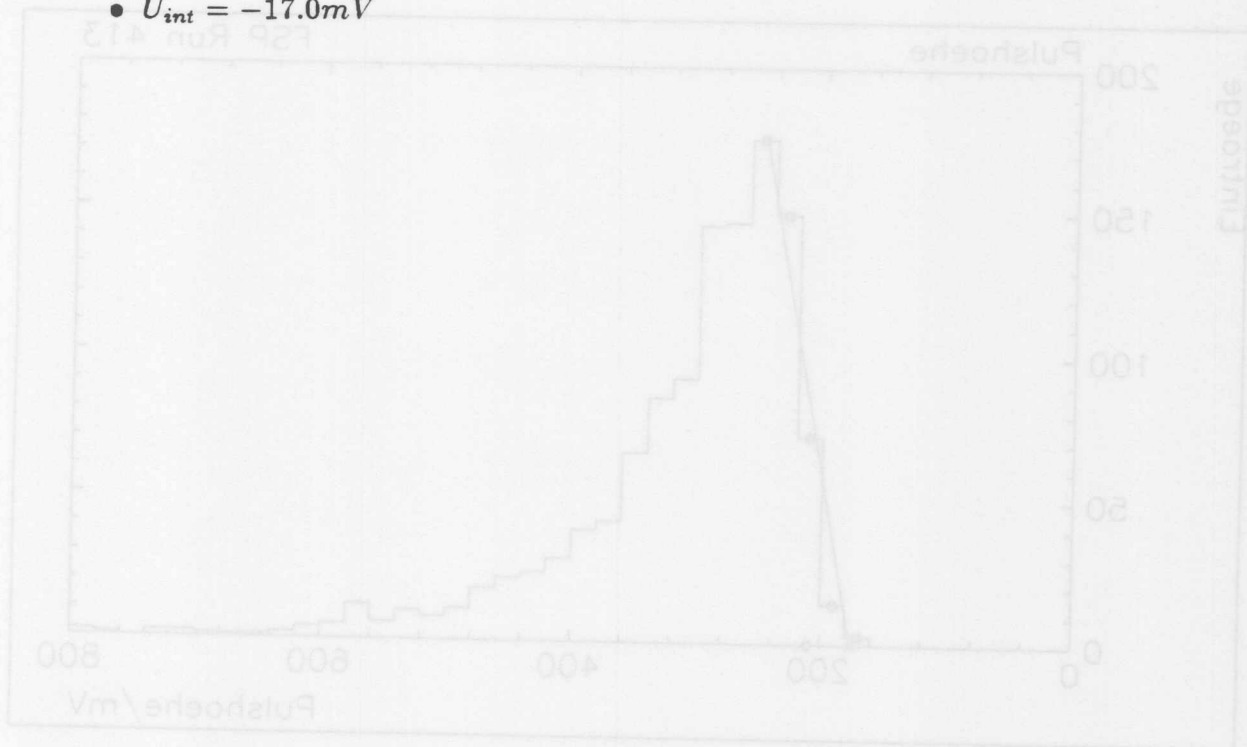


Abbildung 4.6: Verteilung der Pulshöhen U bei $U_{int} = -10.0mV$

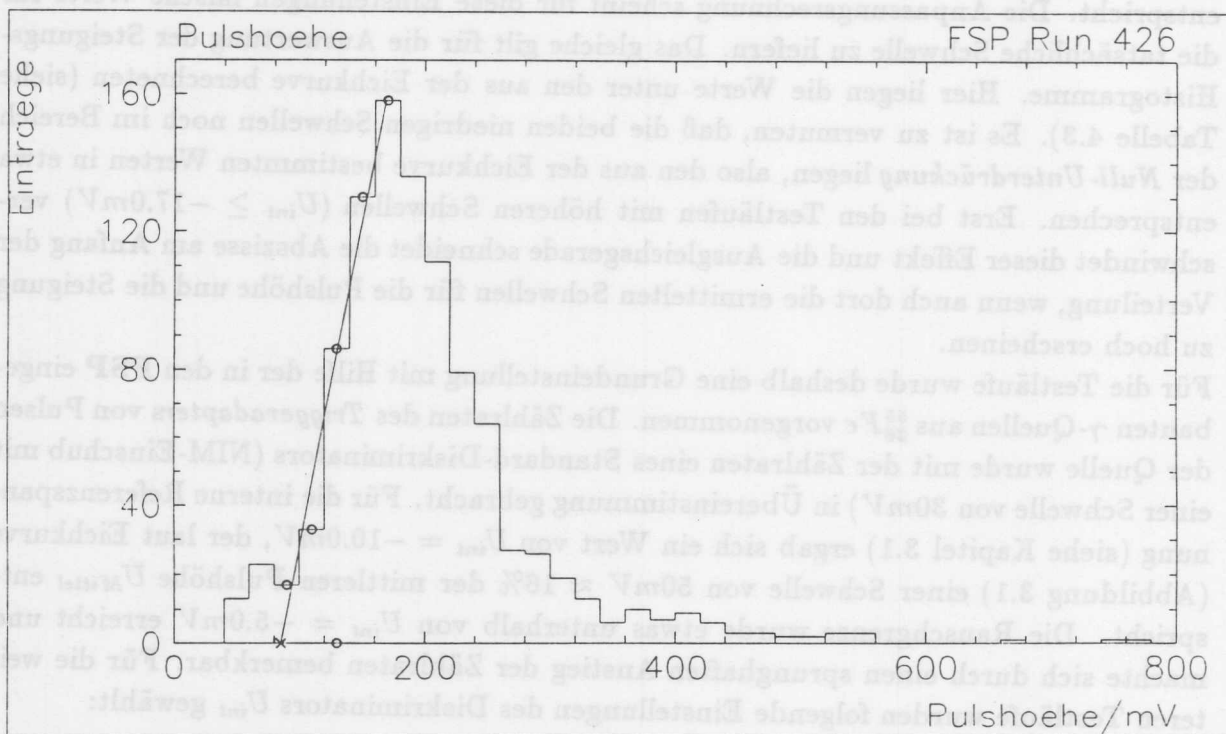


Abbildung 4.5: Verteilung der Pulshöhen U bei $U_{int} = -10.0mV$

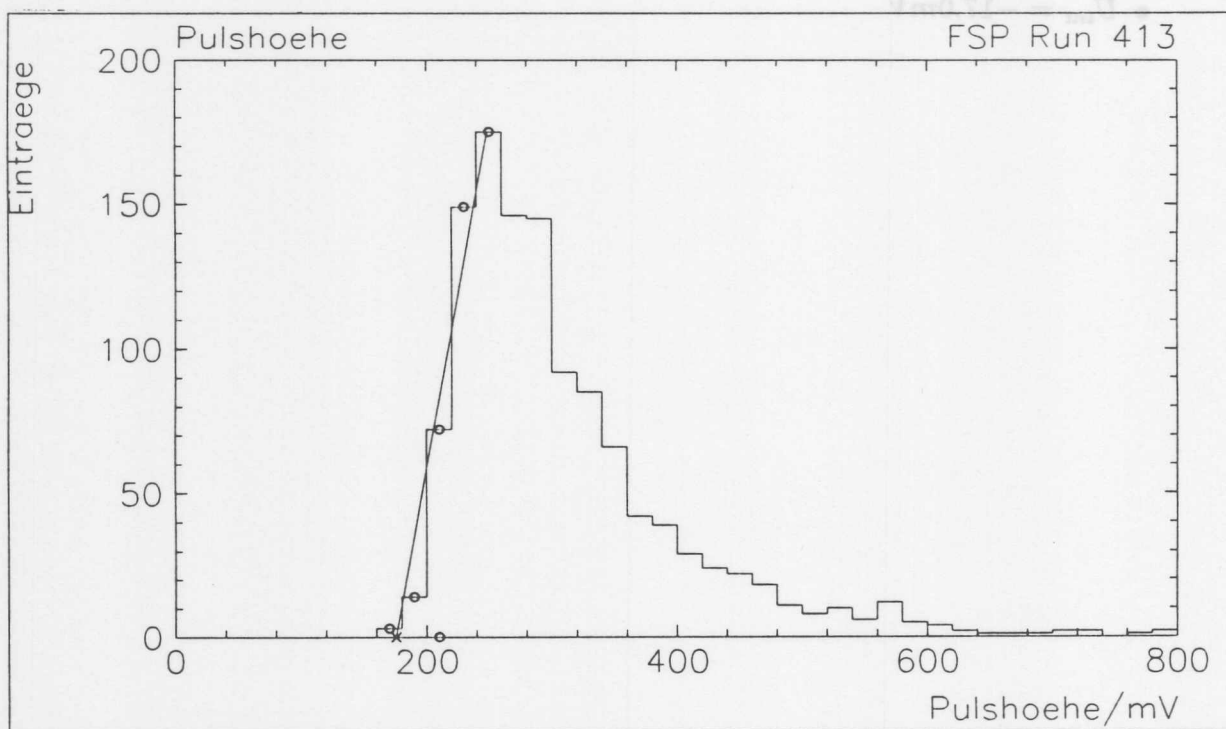


Abbildung 4.6: Verteilung der Pulshöhen U bei $U_{int} = -40.0mV$

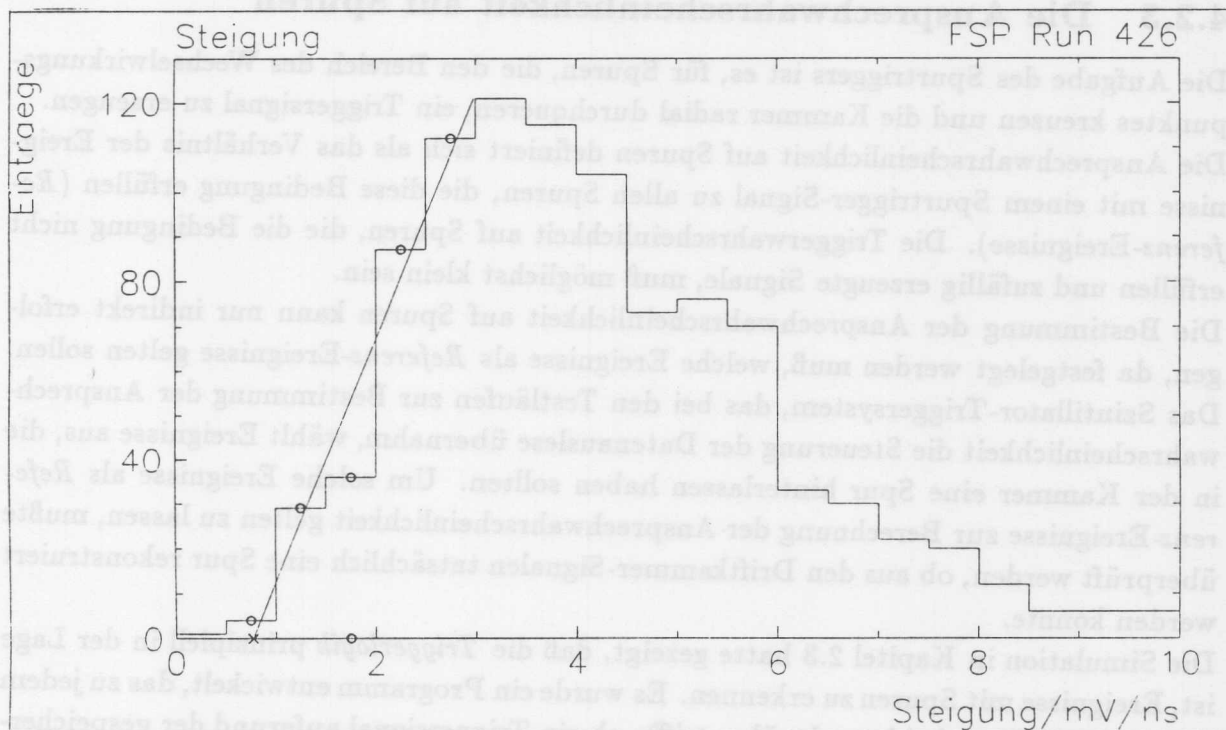


Abbildung 4.7: Verteilung der Steigungen S bei $U_{int} = -10.0mV$

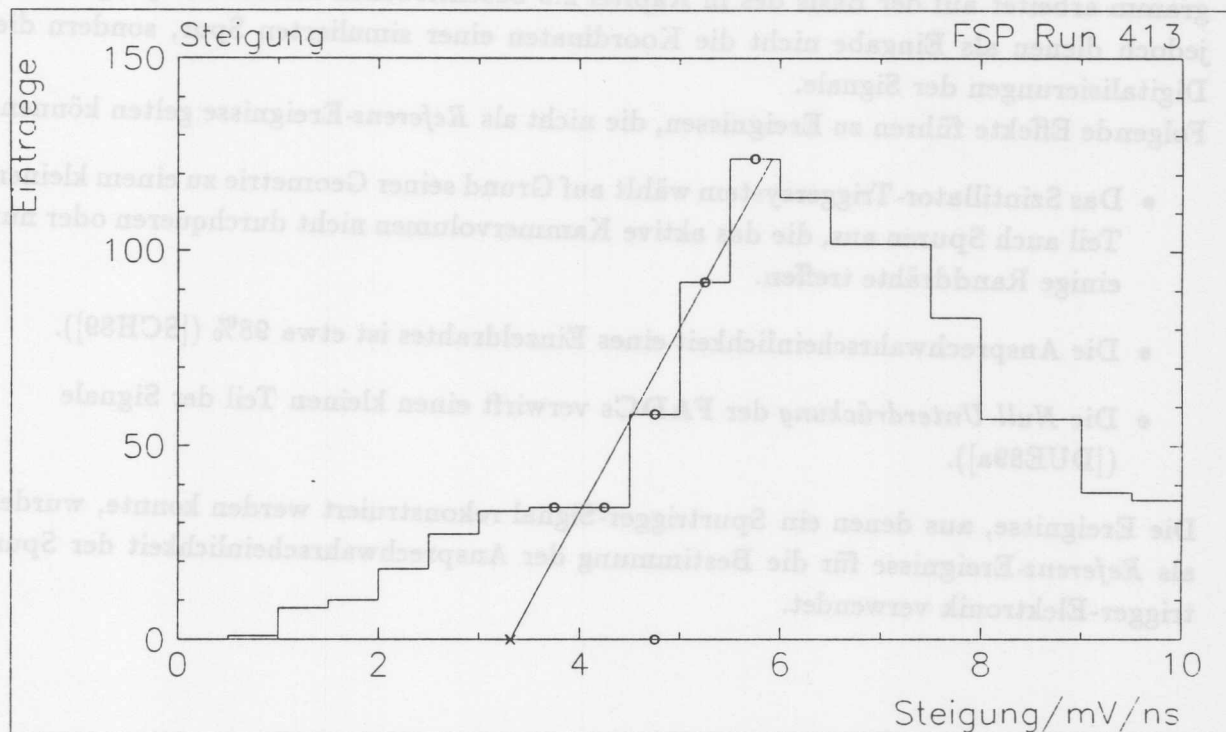


Abbildung 4.8: Verteilung der Steigungen S bei $U_{int} = -40.0mV$

4.2.3 Die Ansprechwahrscheinlichkeit auf Spuren

Die Aufgabe des Spurtriggers ist es, für Spuren, die den Bereich des Wechselwirkungspunktes kreuzen und die Kammer radial durchqueren, ein Triggersignal zu erzeugen.

Die Ansprechwahrscheinlichkeit auf Spuren definiert sich als das Verhältnis der Ereignisse mit einem Spurtrigger-Signal zu allen Spuren, die diese Bedingung erfüllen (*Referenz-Ereignisse*). Die Triggerwahrscheinlichkeit auf Spuren, die die Bedingung nicht erfüllen und zufällig erzeugte Signale, muß möglichst klein sein.

Die Bestimmung der Ansprechwahrscheinlichkeit auf Spuren kann nur indirekt erfolgen, da festgelegt werden muß, welche Ereignisse als *Referenz-Ereignisse* gelten sollen. Das Szintillator-Triggersystem, das bei den Testläufen zur Bestimmung der Ansprechwahrscheinlichkeit die Steuerung der Datenauslese übernahm, wählt Ereignisse aus, die in der Kammer eine Spur hinterlassen haben sollten. Um solche Ereignisse als *Referenz-Ereignisse* zur Berechnung der Ansprechwahrscheinlichkeit gelten zu lassen, mußte überprüft werden, ob aus den Driftkammer-Signalen tatsächlich eine Spur rekonstruiert werden konnte.

Die Simulation in Kapitel 2.3 hatte gezeigt, daß die *Triggerlogik* prinzipiell in der Lage ist, Ereignisse mit Spuren zu erkennen. Es wurde ein Programm entwickelt, das zu jedem Ereignis eine Entscheidung darüber trifft, ob ein Triggersignal aufgrund der gespeicherten Daten möglich war und wenn ja, wann es erzeugt worden wäre (*Rekonstruktion*). Dazu wurden die digitalisierten Pulsamplituden mit der eingestellten *Triggerlogik* verglichen und der früheste Zeitpunkt der Überlappung der Zeitfenster errechnet. Das Programm arbeitet auf der Basis des in Kapitel 2.3 beschriebenen Simulationsprogramms, jedoch dienen als Eingabe nicht die Koordinaten einer simulierten Spur, sondern die Digitalisierungen der Signale.

Folgende Effekte führen zu Ereignissen, die nicht als *Referenz-Ereignisse* gelten können:

- Das Szintillator-Triggersystem wählt auf Grund seiner Geometrie zu einem kleinen Teil auch Spuren aus, die das aktive Kammervolumen nicht durchqueren oder nur einige Randdrähte treffen.
- Die Ansprechwahrscheinlichkeit eines Einzeldrahtes ist etwa 98% ([SCH89]).
- Die *Null-Unterdrückung* der FADCs verwirft einen kleinen Teil der Signale ([DUE89a]).

Die Ereignisse, aus denen ein Spurtrigger-Signal rekonstruiert werden konnte, wurden als *Referenz-Ereignisse* für die Bestimmung der Ansprechwahrscheinlichkeit der Spurtrigger-Elektronik verwendet.

Zählgrößen

Aus den Daten der Testläufe wurden folgende Größen bestimmt:

- Die Anzahl der aufgezeichneten Ereignisse N_E .
- Die Anzahl der Ereignisse mit einem Spurtrigger-Signal n_D .
- Die Anzahl der Ereignisse, aus denen ein Spurtrigger-Signale rekonstruiert werden konnte (*Referenz-Ereignisse*) n_{Ref} .
- Die Anzahl der Ereignisse, bei denen ein Spurtrigger-Signal gemessen wurde, ohne daß eines rekonstruierbar war (*Fehltrigger*) $n_{\bar{r}}$.
- Die Anzahl der Ereignisse, bei denen sich ein Spurtrigger-Signal rekonstruieren ließ, ohne daß eines gemessen werden konnte $n_{\bar{i}}$.
- Es gilt: $n_D = n_{Ref} + n_{\bar{r}} - n_{\bar{i}}$

Die Ergebnisse der Läufe mit verschiedenen Szintillator-Anordnungen bei sonst gleichen Parametern sind zusammengefaßt in der Tabelle 4.4 aufgelistet.

Majorität	N_E	n_D	n_{Ref}	$n_{\bar{i}}$	$n_{Ref} - n_{\bar{i}}$	sf $n_{\bar{r}}$
$U_{int} = -5.0mV$						
4	2421	2292	2290	1	2289	3
5	3631	2469	2469	8	2461	8
6	2811	1954	1930	33	1897	57
7						
8	3520	1664	1713	82	1631	33
$U_{int} = -10.0mV$						
4	3145	2587	2591	4	2587	0
5	5137	4067	4127	61	4066	1
6	7936	6137	6348	217	6131	6
7	1518	1182	1188	9	1179	3
8	2828	1321	1351	33	1318	3
$U_{int} = -17.0mV$						
4	2400	2267	2281	14	2267	0
5	2562	2381	2425	44	2381	0
6	2330	1810	1998	189	1809	1
7						
8	2628	1347	1468	122	1346	1

Tabelle 4.4: Die Testläufe mit dem Szintillator-Triggersystem

Die Tabelle 4.5 zeigt die Anteile der *Referenz*-Ereignisse für verschiedene Einstellungen der *Majoritätslogik* und Diskriminatorschwelle.

Majorität	$\Sigma n_{Ref}/\Sigma N_E[\%]$
4	89.9 ± 0.3
5	79.6 ± 0.4
6	78.6 ± 0.4
7	78.3 ± 1.1
8	50.5 ± 0.5

Tabelle 4.5: Anteil der *Referenz*-Ereignisse

Bei der *Majorität* 4 beträgt der Anteil der *Referenz*-Ereignisse ca. 90%. Wie die Simulation zeigte, triggert der Spurtrigger bei dieser Einstellung auch auf Spuren, die den Bereich des Wechselwirkungspunktes nicht schneiden bzw. am Rande der Kammer verlaufen. Lediglich Spuren, die nicht das aktive Kammervolumen durchqueren, können kein Spurtrigger-Signal auslösen.

Bei den *Majoritäten* 5 und 6 sind die Anforderungen an den Verlauf der Spuren höher. Spuren, die den Bereich des Wechselwirkungspunktes kreuzen treffen mindestens 6 *Drahtlagen*. Die Anteile für die *Majoritäten* 5 und 6 sind annähernd gleich.

Bestimmung der Ansprechwahrscheinlichkeit

Die Ansprechwahrscheinlichkeit auf Spuren ist $W_{Spur} = 1 - n_{\bar{t}}/n_{Ref}$, wobei $n_{\bar{t}}$ der Anteil an den *Referenz*-Ereignissen n_{Ref} ist, bei denen kein Spurtrigger-Signal gemessen werden konnte. Durch die *Null-Unterdrückung* der **FADCs**, die bei $15Counts \approx 30mV$ liegt, wird das Pulshöhenspektrum so eingeschnitten, daß Rauschsignale sicher unterdrückt werden. Wie in Kapitel 4.2.2 beschrieben, sollte die Diskriminatorschwelle des *Triggeradapters* dieser Einstellung entsprechen. Die Auswertung der dafür durchgeführten Testläufe favorisierte eine interne Referenzspannung von $U_{int} = -10.0mV$. Liegt die Diskriminatorschwelle deutlich höher, sinkt die Ansprechwahrscheinlichkeit des Spurtriggers. Der *Triggeradapter* verwirft Signale, die aufgezeichnet werden. Liegt sie deutlich niedriger, können Driftkammer-Signale den Spurtrigger auslösen, die von den **FADCs** unterdrückt werden. Im letzteren Fall sollte zwar die Ansprechwahrscheinlichkeit gleich bleiben, jedoch würde auch auf Spuren getriggert werden, die nicht aufgezeichnet und nicht als *Referenz*-Ereignisse gelten (*Fehltrigger* $n_{\bar{t}}$). Die richtige Wahl der Diskriminator-Einstellung sollte sich aus den Meßergebnissen bestätigen lassen. Tabelle 4.6 zeigt die Ansprechwahrscheinlichkeiten W_{Spur} für verschiedene Parameter-Einstellungen. In Tabelle 4.7 sind die Anteile der *Fehltrigger* $W_{Fehl} = n_{\bar{t}}/n_D$ gezeigt.

Majorität	$U_{int} [mV]$		
	$-5.0mV$	$-10.0mV$	$-17.0mV$
4	99.96 ± 0.04	99.85 ± 0.07	99.4 ± 0.2
5	99.7 ± 0.1	98.5 ± 0.2	98.2 ± 0.3
6	98.3 ± 0.3	96.6 ± 0.2	90.5 ± 0.7
7		99.2 ± 0.3	
8	95.2 ± 0.5	97.6 ± 0.4	91.7 ± 0.7

Tabelle 4.6: Ansprechwahrscheinlichkeit auf die Referenz-Ereignisse W_{Spur} in [%]

Majorität	$U_{int} [mV]$		
	$-5.0mV$	$-10.0mV$	$-17.0mV$
4	0.13 ± 0.08	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
5	0.32 ± 0.11	0.02 ± 0.02	0.00 ± 0.00
6	2.92 ± 0.38	0.10 ± 0.04	0.06 ± 0.06
7		0.25 ± 0.15	
8	1.98 ± 0.34	0.23 ± 0.13	0.07 ± 0.07

Tabelle 4.7: Fehltrigger-Anteil an allen gemessenen Spurtrigger-Signalen W_{Fehl} in [%]

Die Ergebnisse spiegeln die beschriebenen Effekte wieder. Der Fehltrigger-Anteil W_{Fehl} ist bei den beiden hohen Schwellen ($U_{int} = -10.0mV$ und $-17.0mV$) $\leq 0.3\%$. Die Ergebnisse aus Kapitel 4.2.2 werden dadurch bestätigt. Die Ansprechwahrscheinlichkeit W_{Spur} ist, wie erwartet, für die kleinen Schwellen am besten. Sie liegt für $U_{int} = -10.0mV$, entsprechend einer Schwelle von $50mV$, und Majorität 5 bei $(98.5 \pm 2.2)\%$. In Abbildung 4.9 ist die Korrelation zwischen den gemessenen und den durch Rekonstruktion bestimmten Zeitpunkten der Entstehung des Spurtrigger-Signals gezeigt. Deutlich wird, daß der Spurtrigger der Rekonstruktion bis auf einen durch die Laufzeit der Elektronik bedingten Zeit-Offset folgt. Die zeitliche Verteilung des Triggerzeitpunktes des Spurtriggers relativ zum prompten Szintillator-Triggersignal ist in Abbildung 4.10 histogrammiert. Wie schon in Kapitel 2.2 erwähnt, entsteht das Spurtrigger-Signal als Koinzidenz der gedehnten Driftkammer-Signale, die von der zeitliche Abfolge der Signalentstehungen und damit vom Spurwinkel zur Signaldrahte ebene abhängt. Die Verteilung reicht bis zur Länge des Zeitfensters von $1.1\mu s$. Ein promptes Signal entsteht, wenn eine Spur direkt entlang einer Signaldrahte ebene verläuft und an allen Drähten ohne Zeitverzögerung ein Signal entsteht. Die meisten Spuren schneiden jedoch die Signaldrahte ebene. Die Zeitdifferenz zwischen dem prompten Signal am Durchstoßpunkt und dem zuletzt entstehenden Signal ist dann durch den maximal möglichen Driftweg gegeben. Dieser liegt bei etwa $s_{max} \approx 2.5cm$, da nur die mittleren 8 Signaldrähte berücksichtigt werden. Es ergibt sich eine Zeitverzögerung von $\Delta t = s_{max}/v_D \approx 500ns$ für eine Driftgeschwindigkeit von $v_D = 53\mu m/ns$.

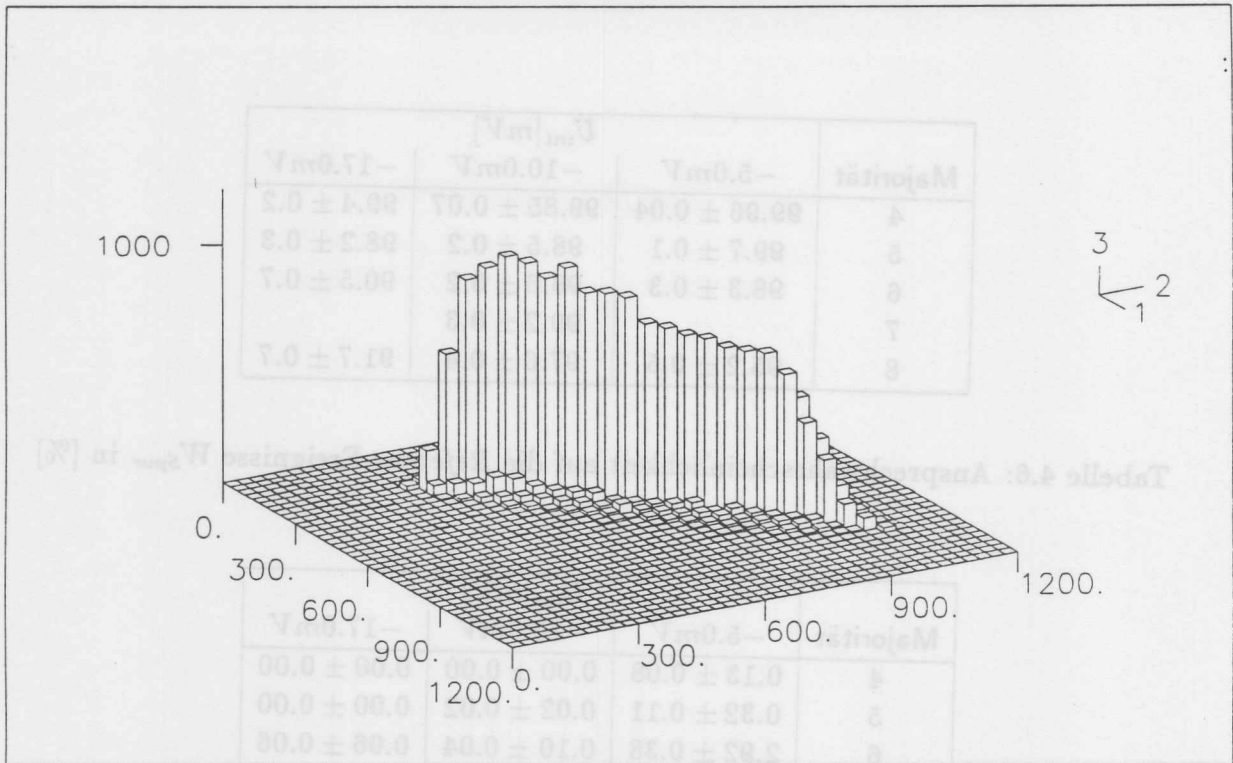


Abbildung 4.9: Errechnete gegen gemessene Triggerzeitpunkte, Majorität 5, $U_{int} = -10.0mV$

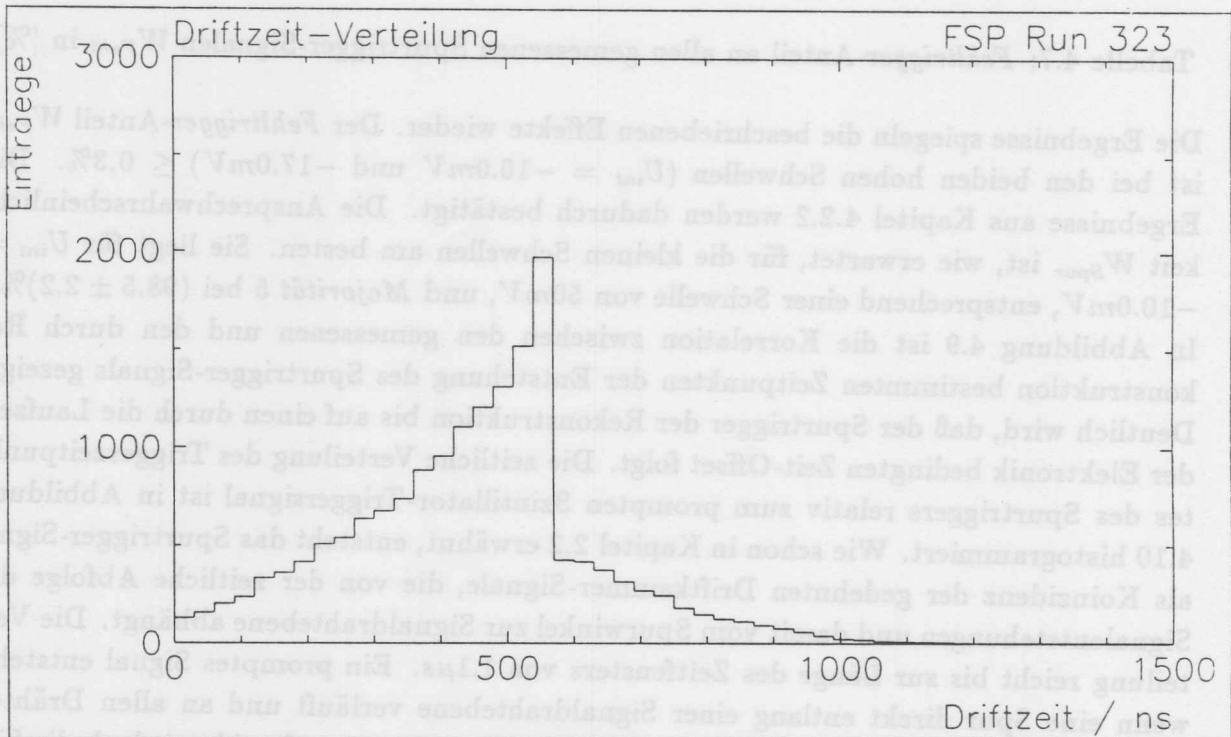


Abbildung 4.10: Zeitliche Verteilung der Spurtrigger-Signale, Majorität 8, $U_{int} = -10.0mV$

4.2.4 Die Ausbeute an verwertbaren Spuren

Für den Betrieb des Spurtriggers als Haupttrigger zur Steuerung der Auslese-Elektronik spielen die Ereignisrate und die Ausbeute an Ereignissen mit Spuren eine entscheidende Rolle. Diese Größen lassen sich nur bestimmen, wenn die Datenauslese vom Spurtrigger selbst gesteuert wird.

Zählraten

Die Zählraten für Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung sind in Tabelle 4.8 aufgelistet. Die Beschneidung des Spektrums durch die Diskriminatorschwelle senkt die Rate bei kleinen Einstellungen der *Majoritätslogik* erheblich. Bei einer mittleren Einstellung (Diskriminatoreinstellung $U_{int} = -10.0mV$ und *Majorität* 5) liegt die Rate bei $62Hz$. Unter Berücksichtigung, daß der Akzeptanzbereich des FSP einer horizontalen Fläche von mehr als $6m^2$ entspricht, ist die erreichte Rate vergleichbar mit der durch das Szintillator-Triggersystem bei [REU88] gemessene Rate von ca. $7Hz$.

Majorität	$U_{int}[mV]$		
	$-5.0mV$	$-10.0mV$	$-17.0mV$
3	5516.9 ± 22.8	152.3 ± 2.3	123.8 ± 2.1
4	688.7 ± 5.3	72.9 ± 1.6	67.3 ± 1.5
5	119.2 ± 2.0	62.0 ± 1.5	56.9 ± 1.4
6	60.5 ± 1.4	49.9 ± 1.3	42.6 ± 1.2
7	40.2 ± 1.2	33.6 ± 1.1	32.2 ± 1.0
8	34.4 ± 1.1	32.0 ± 1.0	24.3 ± 0.9

Tabelle 4.8: Zählraten für Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung in $[Hz]$

Spuren-Ausbeute

Um die Ausbeute an verwertbaren Spuren zu bestimmen, wurden zwei Wege eingeschlagen. Jedes Ereignis wurde auf die Rekonstruierbarkeit eines Spurtrigger-Signals hin überprüft. Die Ergebnisse der Testläufe sind in der Tabelle 4.9 aufgelistet. Der Anteil der Ereignisse ohne rekonstruierbares Triggersignal ist für die beiden hohen Schwellen sehr gering. Da die niedrige Schwelle am Rande der Rauschgrenze liegt, ist der sehr hohe Anteil nicht verwunderlich. Im Gegensatz zu den anderen Testläufen, bei denen das Szintillator-Triggersystem durch seine Mehrfach-Koinzidenz das Auftreten von Ereignissen mit vielen Treffern aus Störungen (z.B. Überschlagen an der Hochspannungsversorgung) ausschloß, reicht die Rekonstruktion in diesem Fall alleine nicht aus.

Da kein verlässliches Spurfindungsprogramm zur Verfügung stand, wurden für 6 Testläufe je 100 willkürlich ausgewählte Ereignisse visuell nach Spuren abgesehen. Die Ergebnisse zeigt die Tabelle 4.10. Entschieden wurde für jedes gemusterte Ereignis, ob eine

oder mehrere Spuren zu erkennen waren, oder ob das Ereignis keine Spur enthielt. Beispiele für die 3 Kategorien von Ereignissen in Tabelle 4.10 sind in der Abbildung 4.11 bis 4.13 gezeigt. Da die Beurteilung sehr subjektiv geschah, sind die Ergebnisse mit großen Fehlern behaftet. Es läßt sich jedoch sagen, daß die Ausbeute an Ereignissen mit klaren Spuren größer als 95% ist.

Majorität	N_E	n_{Ref}	n_{Ref}/N_E [%]
$U_{int} = -5.0mV$			
4	1500	262	17.5 ± 1.0
5	1500	960	64.0 ± 1.2
6	1660	1477	89.0 ± 0.8
7			
8	1508	1436	95.5 ± 0.5
$U_{int} = -10.0mV$			
4	1375	1359	98.8 ± 0.3
5	2000	1992	99.6 ± 0.1
6	4011	3983	99.3 ± 0.1
7	1100	1096	97.2 ± 0.2
8	1500	1485	99.0 ± 0.3
$U_{int} = -17.0mV$			
4			
5	2000	1997	99.85 ± 0.09
6	2001	2001	100.0 ± 0.0
7			
8	2300	2298	99.91 ± 0.06

Tabelle 4.9: Die Testläufe mit dem Spurtrigger

	U_{int} [mV]		
	-5.0mV	-10.0mV	-17.0mV
Majorität 5			
1 Spur	51 ± 7	89 ± 9	82 ± 9
mehrere Spuren	8 ± 3	3 ± 2	15 ± 4
Störungen	41 ± 6	8 ± 3	3 ± 2
Majorität 8			
1 Spur	84 ± 9	78 ± 9	83 ± 9
mehrere Spuren	14 ± 4	17 ± 4	14 ± 4
Störungen	2 ± 1	5 ± 2	3 ± 2

Tabelle 4.10: Ergebnisse der Durchsicht der Testläufe in [%]

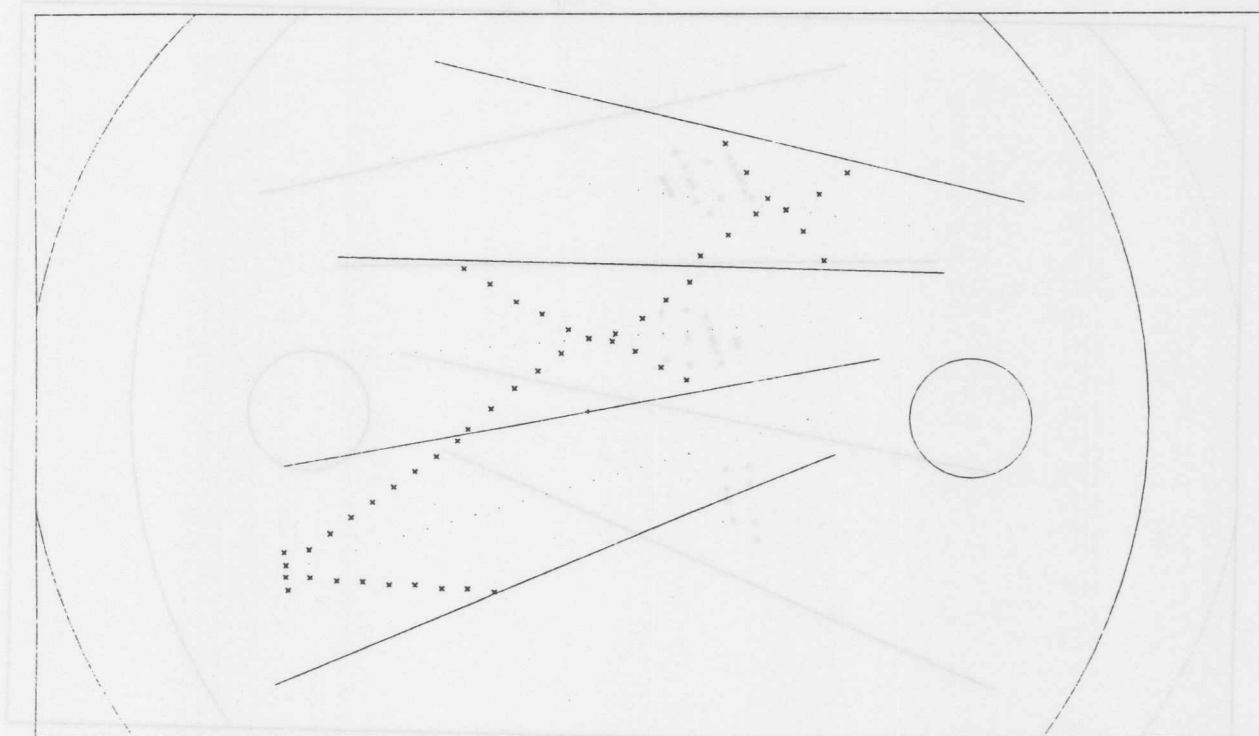


Abbildung 4.11: Ereignis mit einer Spur $U_{int} = -10.0mV$, Majorität 5

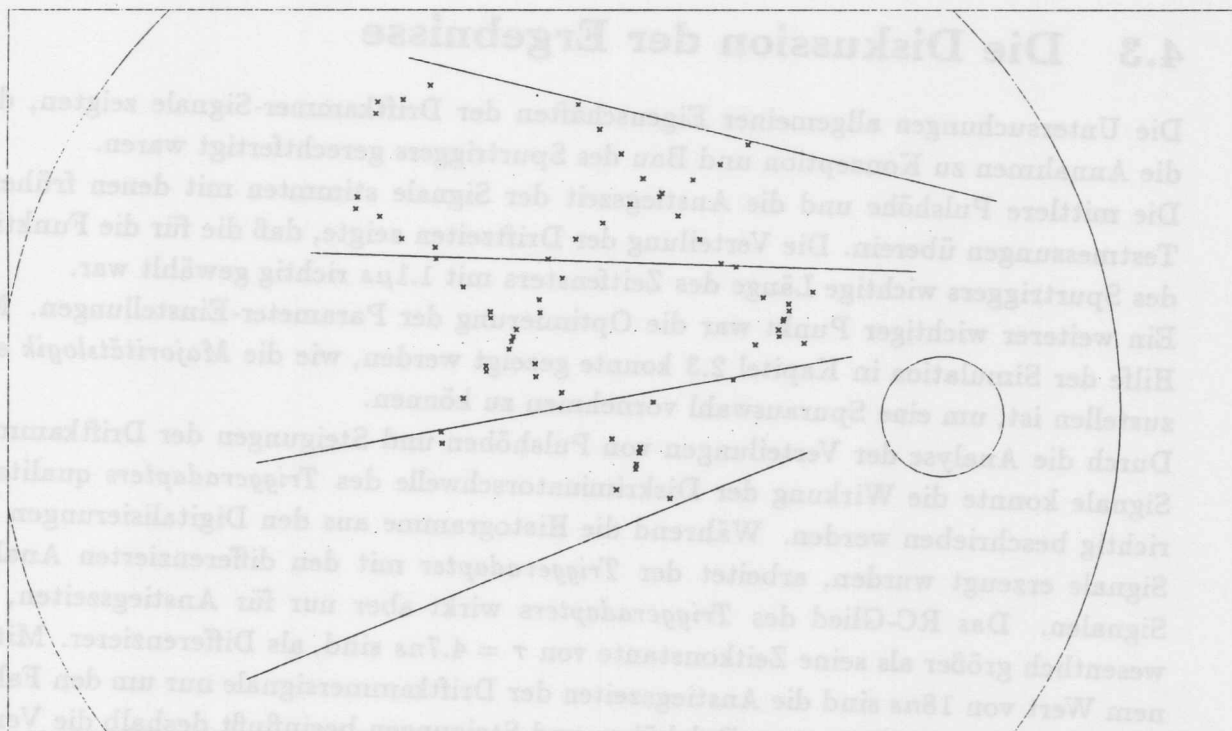


Abbildung 4.12: Ereignis mit mehreren Spuren $U_{int} = -10.0mV$, Majorität 5

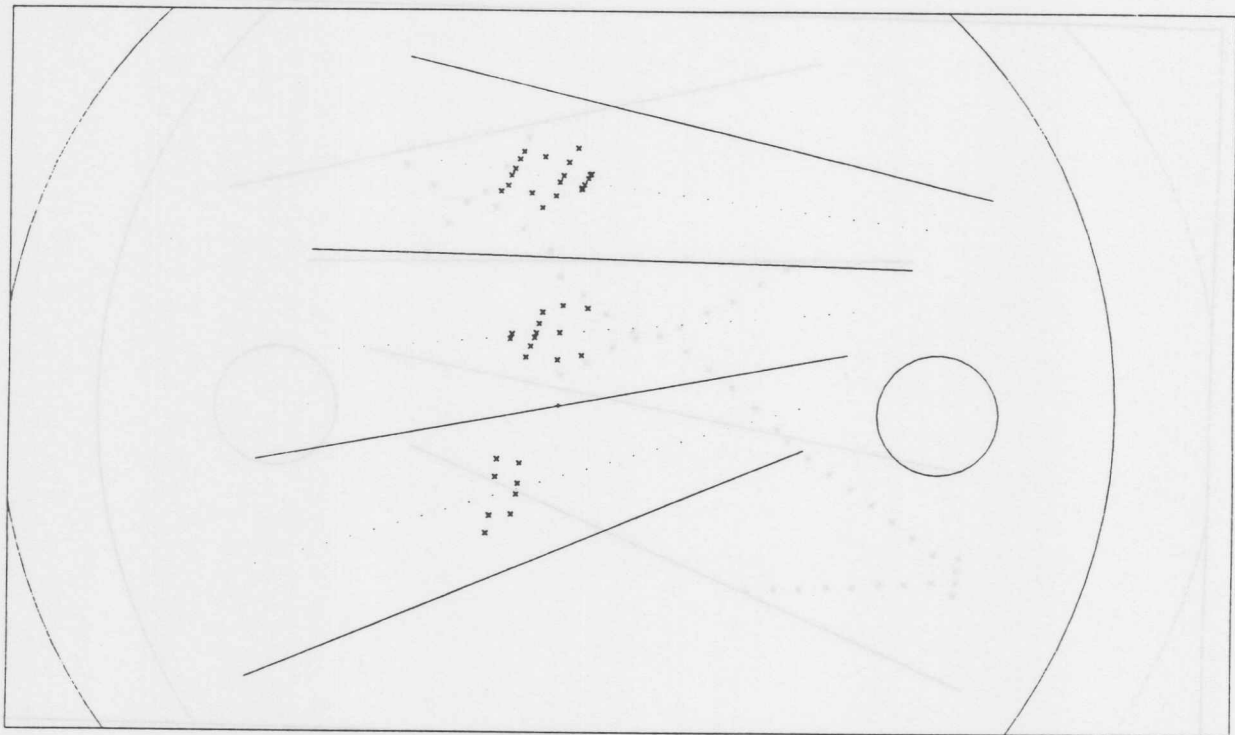


Abbildung 4.13: Ereignis ohne Spuren $U_{int} = -10.0mV$, Majorität 5

4.3 Die Diskussion der Ergebnisse

Die Untersuchungen allgemeiner Eigenschaften der Driftkammer-Signale zeigten, daß die Annahmen zu Konzeption und Bau des Spurtriggers gerechtfertigt waren.

Die mittlere Pulshöhe und die Anstiegszeit der Signale stimmten mit denen früherer Testmessungen überein. Die Verteilung der Driftzeiten zeigte, daß die für die Funktion des Spurtriggers wichtige Länge des Zeitfensters mit $1.1\mu s$ richtig gewählt war.

Ein weiterer wichtiger Punkt war die Optimierung der Parameter-Einstellungen. Mit Hilfe der Simulation in Kapitel 2.3 konnte gezeigt werden, wie die *Majoritätslogik* einzustellen ist, um eine Spurauswahl vornehmen zu können.

Durch die Analyse der Verteilungen von Pulshöhen und Steigungen der Driftkammer-Signale konnte die Wirkung der Diskriminatorschwelle des *Triggeradapters* qualitativ richtig beschrieben werden. Während die Histogramme aus den Digitalisierungen der Signale erzeugt wurden, arbeitet der *Triggeradapter* mit den differenzierten Analog-Signalen. Das RC-Glied des *Triggeradapters* wirkt aber nur für Anstiegszeiten, die wesentlich größer als seine Zeitkonstante von $\tau = 4.7ns$ sind, als Differenzierer. Mit einem Wert von $18ns$ sind die Anstiegszeiten der Driftkammersignale nur um den Faktor 4 größer. Die Korrelation von Pulshöhen und Steigungen beeinflusst deshalb die Verteilungen besonders für kleine Einstellungen des Diskriminators, so daß die Anpassungen der steigenden Flanken der Histogramme nicht die richtigen Werte liefern.

Für die Anwendung des Diskriminators ist die Zählrate die ausschlaggebende Größe, eine detailliertere Analyse war deshalb unnötig.

Als Alternativ-Lösung wurde eine Grundeinstellung des Diskriminators durch den Vergleich der Zählraten mit einem Standard-Diskriminator (Schwelle $30.0mV$) durchgeführt. Als Teilchenquelle diente das in den FSP eingebaute Eisenpräparat. Im weiteren Verlauf der Testmessungen erwies sich die Einstellung bei $U_{int} = -10.0mV$ als guter Wert. Einerseits ist die Rauschunterdrückung gewährleistet, andererseits entsprechen die Zählraten, Ansprechwahrscheinlichkeit und Ausbeuten den Erwartungen.

Die Ansprechwahrscheinlichkeit auf Spuren wurde definiert als die Ansprechwahrscheinlichkeit auf die Referenz-Ereignisse. Die Referenz-Ereignisse wurden aus allen vom Szintillator-Triggersystem getriggerten Ereignissen ausgewählt. Dazu wurde versucht, aus den gespeicherten Digitalisierungen der Driftkammer-Signale aufgrund der eingestellten Triggerlogik ein Spurtrigger-Signal zu rekonstruieren. Da die Ansprechwahrscheinlichkeit der Auslese-Elektronik durch die Null-Unterdrückung der FADCs kleiner als 1 ist, ist die Ansprechwahrscheinlichkeit des Spurtriggers relativ zu dieser Größe zu sehen. Trotzdem ist es möglich, eine klare Beurteilung der Funktionstüchtigkeit des Spurtriggers vorzunehmen, da für den Betrieb tatsächlich nur die Ansprechwahrscheinlichkeit auf Spuren interessiert, die auch aufgezeichnet werden.

Eine weitere Überprüfung der Diskriminator-Einstellung war durch die Bestimmung der Fehltrigger-Anteile möglich. Für eine Diskriminatorschwelle in der Höhe der Null-Unterdrückung sollte dieser Anteil Null sein.

Aus den Ergebnissen der Testmessungen konnten somit klare Aussagen über die Einstellung der Parameter und über die zu erwartenden Ansprechwahrscheinlichkeiten und Ausbeuten getroffen werden.

Zusammenfassung

Insgesamt liefern folgende Einstellungen die besten Ergebnisse:

- Der Diskriminator sollte mit der Einstellung $U_{int} = -10.0mV$ arbeiten, wobei die tatsächliche Schwelle bei etwa $50.0mV$ liegt. Das entspricht 15% der mittleren Pulshöhe.
- Die Majoritätslogik sollte mindestens 5 getroffene Drahtlagen zur Erzeugung eines Spurtrigger-Signals fordern (Majorität 5).

Damit können folgende Werte erreicht werden:

- Die Ansprechwahrscheinlichkeit auf Spuren aus dem Bereich des Wechselwirkungspunktes beträgt $(98.5 \pm 2.2)\%$, wobei der Anteil der Fehltrigger 0.02% beträgt.
- Die Ausbeute an verwertbaren Spuren ist $(92 \pm 10)\%$.
- Die Ereignisrate beträgt $62Hz$.

Kapitel 5

Ausblick: Erweiterung des Spurtriggers für die CJC

5.1 Der Vergleich von FSP und CJC

Aus den Erfahrungen beim Aufbau und Test des Spurtriggers für den **FSP** sollte eine Konzeption für die Erweiterung der Triggerelektronik für die **CJC** entwickelt werden. Um einen Vorschlag für den Aufbau eines **CJC**-Spurtriggers zu machen, mußten die wesentlichen Unterschiede zwischen **CJC** und **FSP** herausgearbeitet werden.

Geometrie

Die **CJC** besteht aus zwei Ringen (siehe Kapitel 1.3). Die **CJC1** hat die gleiche Zellstruktur wie der **FSP** und ist mit 30 Zellen vollständig zylindrisch. Der Akzeptanzbereich für Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung ist wesentlich größer als beim **FSP**; die Spurauswahl muß deshalb aus einer größeren Anzahl von Zellen erfolgen.

Da die Intensität der kosmischen Höhenstrahlung im Einfallslot ($\Theta = 0^\circ$) am größten ist und dann mit $I(\Theta) \propto \cos^2(\Theta)$ abnimmt, genügt es die 9 oberen Zellen zu betrachten.

Die Auswahl der Signaldrähte, die von der *Triggerlogik* verknüpft werden, kann wie beim **FSP** erfolgen, da die gleiche, modular aufgebaute Auslese-Elektronik verwendet wird. Um den Aufwand klein zu halten, wird die **CJC 2** zwar ausgelesen, aber nicht für die Erzeugung eines Spurtrigger-Signals berücksichtigt.

Betriebsparameter

Die **CJC** wird während der Testphase mit einer anderen Gasmischung betrieben als der **FSP** während der Testläufe mit dem Spurtrigger. Als Kammergas wird Argon/CO₂/Methan im Verhältnis 89:10:1 verwendet, das nicht brennbar ist und einen nur schwach ausgeprägten Alterungsprozeß für die Drähte zeigt (siehe [BRE90]). Bei allen Gasmischungen wird die Gasverstärkung so gewählt, daß die Signale die Vorverstärker im Mittel nur bis etwa 1/10 ihres Aussteuerungsbereiches aussteuert. Dadurch ist gewährleistet, daß auch sehr hohe Pulse, die wegen der statistischen Verteilung der Pulshöhen auftre-

ten können, die Vorverstärker nicht übersteuern. Die Arbeitspunkte der Kammern und einige Größen der Driftkammer-Signale sind in Tabelle 5.1 und C.1 gezeigt.

Größe	Einheit	Ar/CO ₂ /CH ₄ 89:10:1		Ar/C ₂ H ₆ 50:50
		FSP	CJC	FSP
mittlere Pulshöhe \hat{U}	[mV]	180	180	160
mittlere Anstiegszeit $\hat{\tau}_{rise}$	[ns]	18	18	18
Driftgeschwindigkeit v_D	[$\mu\text{m}/\text{ns}$]	52	52	53
maximale Driftzeit t_D	[μs]	1.06	1.06	1.04

Tabelle 5.1: Eigenschaften der Driftkammer-Signale (nach [SAN90] und [SCH90c])

Für den Diskriminator des Spurtriggers sind die Pulshöhen und die Anstiegszeiten der Signale entscheidend. Die mittlere Pulshöhe ist wegen der einheitlichen Wahl der Gasverstärkung für alle Betriebsarten fast gleich. Die Anstiegszeit wird von den Vorverstärkern bestimmt und variiert deshalb nicht.

Eine weitere wichtige Größe für den Betrieb des Spurtriggers ist die maximale Driftzeit, die von der Driftgeschwindigkeit abhängt. Die beiden Gasmischungen unterscheiden sich in der Driftgeschwindigkeit nur um etwa 2%.

In der Auslese-Elektronik wird statt des *Mini-Controllers* ein *Scanner* (siehe [ZIM89c]) verwendet. Die Einbindung der Spurtrigger-Elektronik in das Auslese-System kann wie am FSP-Teststand erfolgen.

Magnetfeld

Ist die CJC in den H1-Detektor eingebaut, besteht die Möglichkeit, ein Magnetfeld von 1.2T anzulegen. Geladene Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung werden dann aufgrund der *Lorentzkraft* eine gekrümmte Spur hinterlassen. Der Krümmungsradius R hängt von dem Teilchenimpuls p ab (siehe Kapitel 1.3).

Die Driftrichtung der durch die Ionisation des Kammergases entstandenen Elektronen wird durch das Magnetfeld verändert. Die Drifträume stehen nicht mehr senkrecht auf den Drahtebenen, sondern sind um etwa 30° gedreht (*Lorentzwinkel*), so daß sie senkrecht zur radialen Richtung verlaufen.

Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung müssen, bevor sie die CJC im H1-Detektor erreichen, das Hallendach, Abschirmsteine und einige Detektorkomponenten durchqueren. Die Materialbelegung, insbesondere durch Eisenjoch, Spule und Kalorimeter, entspricht größenordnungsmäßig 3m Eisen¹ (siehe [PRO86]). Es ist deshalb zu erwarten, daß die kosmischen Myonen, die die CJC erreichen, Impulse von mindestens 3.5GeV/c haben (aus [DAT89]). Ihr Krümmungsradius beträgt dann bei einem Magnetfeld von $B = 1.2T$ $R \approx 10m$, wobei eine Rate im 1/10Hz-Bereich zu erwarten ist (nach [REU88]). Die Spuren können in guter Näherung als gerade angesehen werden.

¹Dichte: 7.87g/cm³, Strahlungslänge: 13.84g/cm²

5.2 Das Konzept für einen CJC-Spurtrigger

Die *Triggerlogik* für den CJC-Spurtrigger soll das am FSP getestete Konzept durch eine ähnliche Bauweise übernehmen. Der entscheidende Unterschied ist die größere Anzahl von Zellen, so daß eine Verknüpfung aller Zellen gemeinsam, wie beim FSP-Spurtrigger, nicht sinnvoll ist.

Spurdefinition

Die Trigger-Simulation in Kapitel 2.3 hatte gezeigt, daß eine gerade Spur 2 Zellen schneidet. Die logische Oder-Verknüpfung der mittleren 8 Signaldrähte zweier nebeneinander liegender Zellen zu 8 *Drahtlagen* läßt deshalb eine Spurdefinition zu. Eine *Majoritätslogik* erzeugt genau dann ein Triggersignal, wenn mindestens 5 der 8 Drahtlagen getroffen worden sind (*Majorität* 5 aus 8)(siehe Kapitel 2.2). Für die 9 zu berücksichtigenden Zellen der CJC 1 ergeben sich 8 solcher Zellenpaare; jedes Paar muß auf das Auftreten einer Spur hin untersucht werden.

Ist das Magnetfeld angelegt drehen sich die Drifträume wie in Kapitel 5.1 beschrieben. Außerdem sind die Spuren gekrümmt. Das Grundkonzept ist dennoch weiterhin anwendbar, da die Verkippung der Drifträume am Prinzip der Spurdefinition nichts ändert. Der zu erwartende Krümmungsradius der Spuren ist so groß, daß die Spuren als nahezu gerade angesehen werden können.

Koinzidenz

Die Signale entstehen mit einer Verzögerung bis zur maximalen Driftzeit von etwa $1.0\mu\text{s}$. Um eine Koinzidenz zwischen den Signalen herstellen zu können, müssen sie deshalb zeitlich gedehnt werden wie in Kapitel 2.2 beschrieben wurde.

5.3 Die Realisierung eines CJC-Spurtriggers

Mit der folgenden Schaltung könnte ein Spurtrigger für die CJC realisiert werden. Im wesentlichen können die für den FSP entwickelten Schaltungsteile verwendet werden.

5.3.1 Die Elektronik

Die Driftkammer-Signale werden an dem dafür vorgesehenen Ausgängen an den FADC-Karten mit den *Triggeradaptern* (siehe Kapitel 3.1) abgegriffen. Die Diskriminatorschaltung liefert für alle Driftkammer-Signale, die über der eingestellten Schwelle liegen, bipolare TTL-Pulse von 50ns Länge. Über paarweise verdrehte Leitungen gelangen die Pulse zur eigentlichen *Triggerlogik*, wo sie von Leitungsempfängern entdämpft werden. Entsprechend Abbildung 5.1 werden die mittleren 8 Signaldrähte von zwei nebeneinander liegenden Zellen paarweise zu 8 *Drahtlagen* durch ein logisches Oder verknüpft. Jedes der 8 Zellenpaare erhält einen *Buffer*, 8 Signalformer (*Shaper*) und eine *Majoritätslogik* (siehe auch Beschreibung der FSP-Spurtrigger-Elektronik in Kapitel 3.1).

Die Ausgangssignale aller 8 *Majoritätslogiken*, die anzeigen, ob eine Spur in der CJC gefunden wurde, werden durch ein logisches Oder verknüpft und als TTL-Signal zur Verfügung gestellt.

Die Einstellung der Diskriminatoren und der *Majorität* sollte so wie aus den Testmessungen mit dem FSP bestimmt (Kapitel 4.2) erfolgen:

- Diskriminator: $U_{int} = -10.0mV$
- Majoritätslogik: *Majorität* = 5

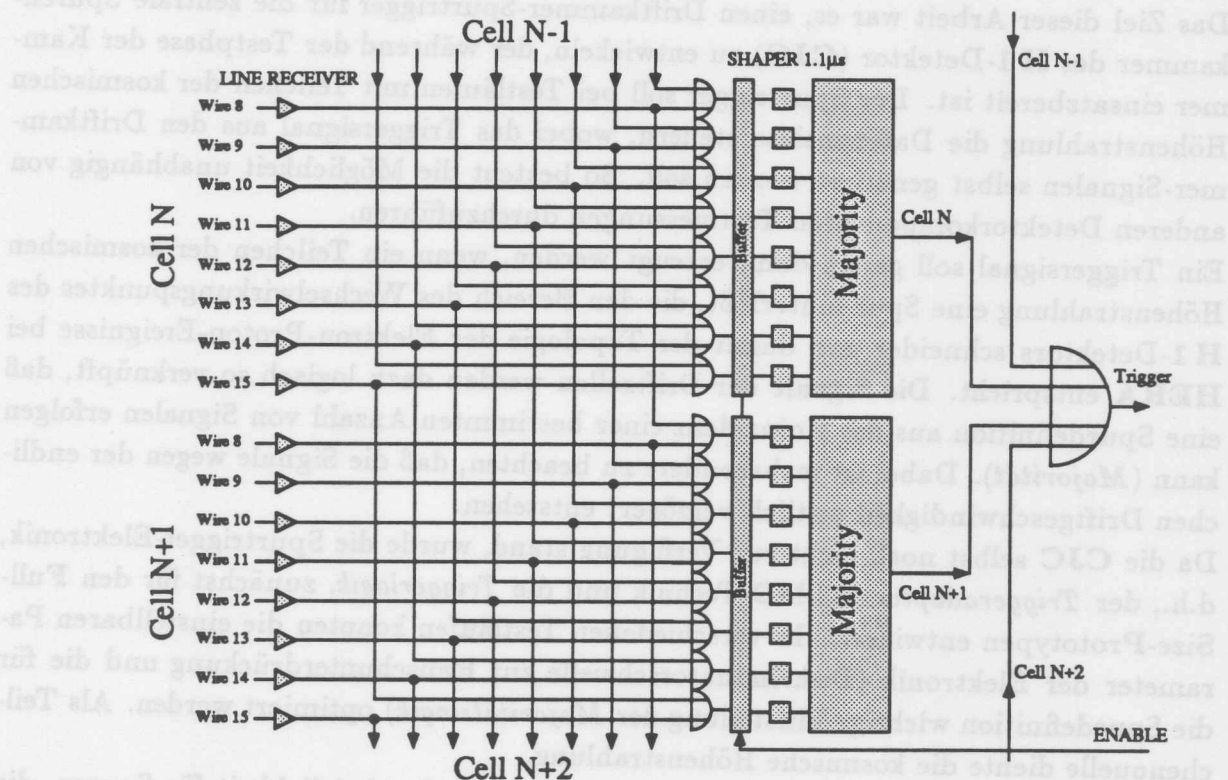


Abbildung 5.1: Blockschaltbild der *Triggerlogik*

5.3.2 Abschätzung von Aufwand und Kosten

Von den *Triggeradaptern* sind 10 Stück vorrätig. Da nur die mittleren 8 Signaldrähte von 9 Zellen ausgelesen werden sollen, ist diese Anzahl ausreichend.

Die Triggerlogik für den CJC-Spurtrigger müsste neu gebaut werden. Dabei können die einzelnen Schaltungsteile wie beim FSP-Spurtrigger aufgebaut werden (siehe Anhang B). Die Schaltung könnte auf zwei EUROPA²-Platinen aufgebaut und auf einen freien FADC-Steckplatz im Auslese-Überrahmen gesteckt werden. Für den Bau und den Test der CJC-*Triggerlogik* sind etwa 6 Wochen zu veranschlagen. Die benötigten Materialien sind DESY-Lagerartikel.

²EUROPA-Format: 160 × 234mm²

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war es, einen Driftkammer-Spurtrigger für die zentrale Spurenkammer des **H 1**-Detektor (**CJC**) zu entwickeln, der während der Testphase der Kammer einsatzbereit ist. Der Spurtrigger soll bei Testläufen mit Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung die Datenauslese steuern, wobei das Triggersignal aus den Driftkammer-Signalen selbst generiert werden soll. So besteht die Möglichkeit unabhängig von anderen Detektorkomponenten Testmessungen durchzuführen.

Ein Triggersignal soll genau dann erzeugt werden, wenn ein Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung eine Spur hinterläßt, die den Bereich des Wechselwirkungspunktes des **H 1**-Detektors schneidet und damit der Topologie der Elektron-Proton-Ereignisse bei **HERA** entspricht. Die Signale der Driftzellen werden dazu logisch so verknüpft, daß eine Spurdefinition aus der Koinzidenz einer bestimmten Anzahl von Signalen erfolgen kann (*Majorität*). Dabei ist insbesondere zu beachten, daß die Signale wegen der endlichen Driftgeschwindigkeit zeitlich verzögert entstehen.

Da die **CJC** selbst noch nicht zur Verfügung stand, wurde die Spurtrigger-Elektronik, d.h., der *Triggeradapter* in SMD-Technik und die *Triggerlogik*, zunächst für den **Full-Size-Prototypen** entwickelt. In verschiedenen Testläufen konnten die einstellbaren Parameter der Elektronik (Diskriminatorschwelle zur Rauschunterdrückung und die für die Spurdefinition wichtige Einstellung der *Majoritätslogik*) optimiert werden. Als Teilchenquelle diente die kosmische Höhenstrahlung.

Für den Betrieb des Spurtriggers sind die Ansprechwahrscheinlichkeit für Spuren, die Ausbeute an verwertbaren Spuren und die Ereignisrate die entscheidenden Größen. Sie wurden aus den Daten der Testläufe bestimmt. Für die Ansprechwahrscheinlichkeit auf Spuren konnte ein Wert von $(98.5 \pm 2.2)\%$ erreicht werden, wobei ein Szintillator-Triggersystem als Referenz diente. Als Ausbeute an verwertbaren Spuren ergab sich ein Wert von $(92 \pm 10)\%$. Die Ereignisrate betrug 62 Hz .

Auf der Grundlage dieses Spurtriggers wurde ein Konzept einer Spurtrigger-Elektronik für die **CJC** entwickelt, die insbesondere die größere Anzahl von Zellen berücksichtigt. Die am **Full-Size-Prototype** getesteten elektronischen Schaltungskomponenten können dazu verwendet werden, so daß in relativ kurzer Zeit ein Driftkammer-Spurtrigger für die Testphase der zentrale Spurenkammer des **H 1**-Detektors aufgebaut werden kann.

Anhang A

Anhang: Die Auslese-Elektronik

A.1 Die Vorverstärker

Die *High Gain* Vorverstärker der CJC befinden sich direkt auf der Kammer und lesen beide Drahtseiten getrennt aus. Jede Vorverstärker-Karte beinhaltet 8 Kanäle. Ihre Signale werden über Multikoaxial-Kabel an die FADC-Karten übertragen und dort digitalisiert.

Die Karten sind in SMD¹-Technik aufgebaut, um die Materialbelegung zwischen Wechselwirkungspunkt und den Vorwärts-Detektoren möglichst gering zu halten. Das Schaltbild ist in Abbildung A.1 gezeigt; einige Daten sind in Tabelle A.1 aufgelistet.

Baugröße	$70 \times 70 \text{mm}^2$
Anstiegszeit	10ns
Verstärkung	$100 \text{mV}/\mu\text{A}$
Eingangsimpedanz	200Ω
Ausgangsimpedanz	$2 \times 50 \Omega$
Ausgangsspannung	$\pm 2.5 \text{V}$
Übersprechen	$< 0.5\%$
Linearität	0.1%
Rauschen	5mV
Leistung/Kanal	170mW
Materialbelegung	$0.02 X_0$

Tabelle A.1: Daten des Vorverstärkers aus [BUE89]

¹Surface-Mounted-Device (SMD)

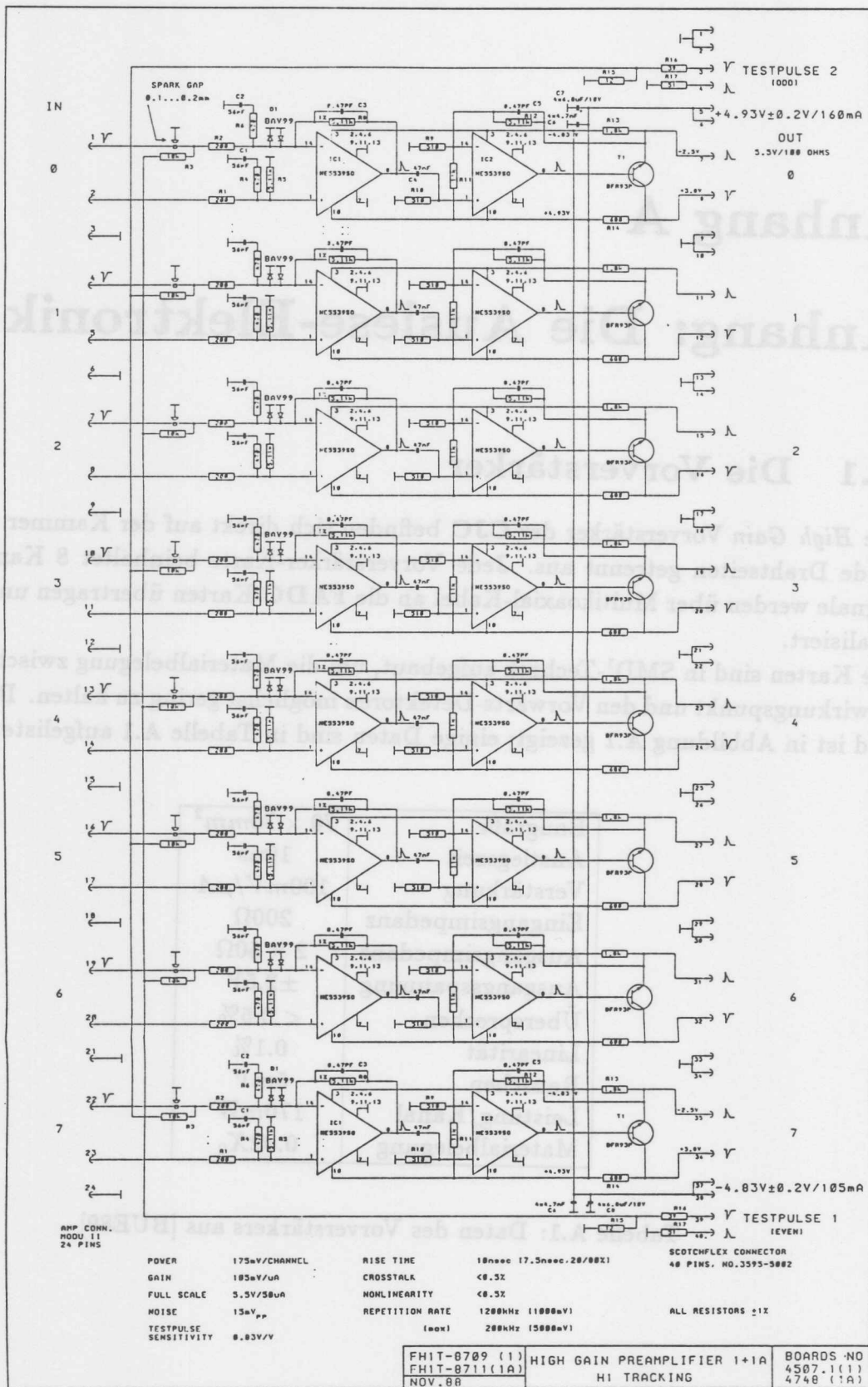


Abbildung A.1: Die Schaltung des High Gain Vorverstärkers

A.2 Die Triggerout-Schaltung

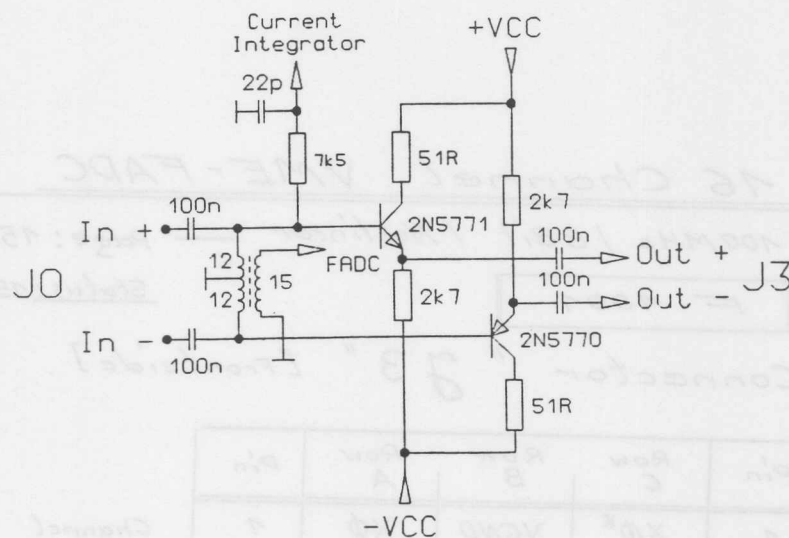


Abbildung A.2: Die *Triggerout*-Schaltung aus [ZIM89b]

Die Driftkammer-Signale, die über die Vorverstärker und die Multikoaxial-Kabel den Auslese-Überrahmen erreichen, werden von der *Triggerout*-Schaltung in Abbildung A.2 für Triggerzwecke zur Verfügung gestellt (die Steckerbelegung zeigt Tabelle A.3). Dabei werden beide Polaritäten der symmetrischen Driftkammer-Signale getrennt behandelt und weitergeleitet.

Ein Emitterfolger (Transistor in Kollektorschaltung) mit hohem Eingangswiderstand entkoppelt den Triggerausgang (*Triggerout*) von der Eingangsseite. Seine Verstärkung ist für kleine Signale (einige 100mV) etwa 1, und sein Ausgangswiderstand ist gering. Durch Kondensatoren (100nF) sind die Ein- und Ausgänge gleichspannungsmäßig entkoppelt.

Die Schaltung verzweigt die Driftkammer-Signale gleichzeitig zu den **FADC**². Das symmetrische Signal mit einem Spannungsbereich bis $\pm 2.0\text{V}$ wird durch einen Übertrager in ein asymmetrisches Signal mit einer maximalen Spannung von 2.5V verwandelt (Übertragungsverhältnis $15/24$) und galvanisch entkoppelt.

Die Schaltung wurde im Rahmen des *F1001*-Systems entwickelt (siehe [ZIM89b] und [KLA90]).

²Flash-Analog-to-Digital-Converter (FADC)

16 Channel VME-FADC

100MHz / 8Bit / Nonlinear — Page: 15 —

F 1001

Status: 15. 2. 88

Connector " J3 " [Frontside]

Pin	Row C	Row B	Row A	Pin
1	X \emptyset *	VGND	X \emptyset	1
2	VGND	VGND	VGND	2
3	X2*	VGND	X2	3
4	VGND	VGND	VGND	4
5	X4*	VGND	X4	5
6	VGND	VGND	VGND	6
7	X6*	VGND	X6	7
8	VGND	VGND	VGND	8
9	Y \emptyset *	VGND	Y \emptyset	9
10	VGND	VGND	VGND	10
11	Y2*	VGND	Y2	11
12	VGND	VGND	VGND	12
13	Y4*	VGND	Y4	13
14	VGND	VGND	VGND	14
15	Y6*	VGND	Y6	15
16	VGND	+5.0V	VGND	16
17	X1*	VGND	X1	17
18	VGND	-5.2V Di	VGND	18
19	X3*	VGND	X3	19
20	VGND	VGND	VGND	20
21	X5*	VGND	X5	21
22	VGND	VGND	VGND	22
23	X7*	VGND	X7	23
24	VGND	VGND	VGND	24
25	Y1*	VGND	Y1	25
26	VGND	VGND	VGND	26
27	Y3*	VGND	Y3	27
28	VGND	VGND	VGND	28
29	Y5*	VGND	Y5	29
30	VGND	VGND	VGND	30
31	Y7*	VGND	Y7	31
32	VGND	VGND	VGND	32

Channel X \emptyset
Channel X2
Channel X4
Channel X6
Channel Y \emptyset
Channel Y2
Channel Y4
Channel Y6
Channel X1
Channel X3
Channel X5
Channel X7
Channel Y1
Channel Y3
Channel Y5
Channel Y7

VGND = Preamp Ground

Abbildung A.3: Die Steckerbelegung des Triggerausgangs J3 aus [ZIM89b]

Anhang B

Anhang: Die Triggerelektronik

B.1 Der Triggeradapter

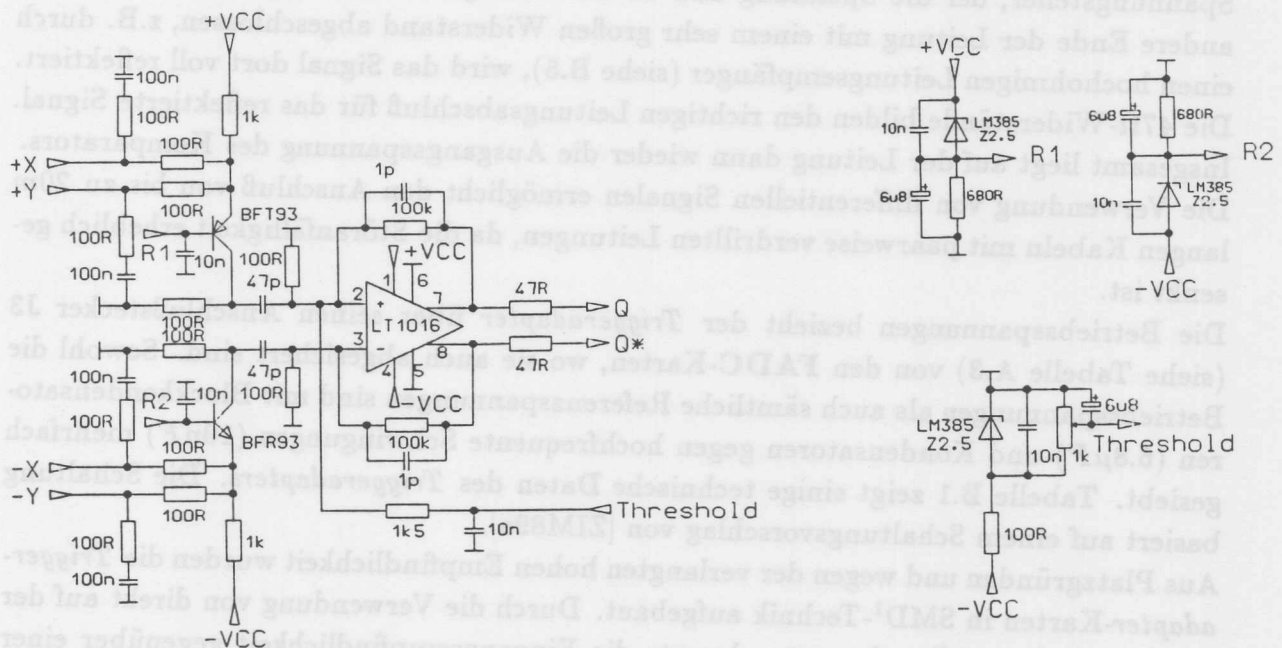


Abbildung B.1: Die Schaltung des *Triggeradapters*

Der *Triggeradapter* hat die Aufgabe, die analogen Driftkammer-Signale am Triggerausgang (*Triggerout*, siehe A.2) an der Vorderseite der **FADC**-Karten abzugreifen und für die Triggerlogik aufzubereiten. Dort werden die symmetrischen Signale von 8 Signaldrähten (16 Kanäle) für beiden Drahtseiten getrennt durch die in Abbildung B.1 gezeigte Schaltung zur Verfügung gestellt. Der Ausgangswiderstand ist 50Ω und die maximale Ausgangsspannung beträgt $\pm 2.5V$.

Der Eingangswiderstand des *Triggeradapters* wird durch die beiden 100Ω -Widerstände an den Eingängen bestimmt und ist mit 50Ω angepaßt. Die Signale beider Drahtseiten werden durch Transistoren in Basisschaltung summiert. Sie besitzen hohen Eingangswiderstände und sorgen somit dafür, daß die Signale entkoppelt und unbeeinflusst bleiben. Der Punkt, an dem die Signale zusammengeführt werden, ist ein *virtueller Nullpunkt*. Die Spannungsverstärkung der Stufe ist nahe 1. Durch die Referenzspannungen $R1 = +2.5V$ und $R2 = -2.7V$ bei $+VCC = 5.0V$ und $-VCC = -5.2V$ werden die Basen der Transistoren auf die halbe Betriebsspannung gelegt, so daß sie bis $2.5V$ aussteuerbar sind. Die Signalsummen werden von RC-Gliedern mit $\tau = 4.7ns$ differenziert. Ein schneller Komparator (Anstiegszeit $\approx 10ns$) liefert einen differentiellen TTL-Puls, falls die differenzierte Summe über der einstellbaren Schwelle (*Threshold* = $0... - 150mV$) liegt. Das Ausgangssignal hat eine Länge von etwa $50ns$. Der Schaltvorgang wird durch frequenzabhängige Rückkopplungsglieder stabilisiert (*Hysterese*). Der Ausgangswiderstand beträgt nur einige Ω , so daß eine 50Ω -Leitung getrieben werden kann. Durch die in Reihe geschalteten 47Ω -Widerstände bilden Widerstand und Leitungswiderstand einen Spannungsteiler, der die Spannung und die zu erbringende Leistung halbiert. Ist das andere Ende der Leitung mit einem sehr großen Widerstand abgeschlossen, z.B. durch einen hochohmigen Leitungsempfänger (siehe B.5), wird das Signal dort voll reflektiert. Die 47Ω -Widerstände bilden den richtigen Leitungsabschluß für das reflektierte Signal. Insgesamt liegt auf der Leitung dann wieder die Ausgangsspannung des Komparators. Die Verwendung von differentiellen Signalen ermöglicht den Anschluß von bis zu $20m$ langen Kabeln mit paarweise verdrehten Leitungen, da die Störanfälligkeit erheblich gesenkt ist.

Die Betriebsspannungen bezieht der *Triggeradapter* über seinen Anschlußstecker J3 (siehe Tabelle A.3) von den **FADC**-Karten, wo sie auch abgesichert sind. Sowohl die Betriebsspannungen als auch sämtliche Referenzspannungen sind mit Blockkondensatoren ($6.8\mu F$) und Kondensatoren gegen hochfrequente Schwingungen ($10nF$) mehrfach gesiebt. Tabelle B.1 zeigt einige technische Daten des *Triggeradapters*. Die Schaltung basiert auf einem Schaltungsvorschlag von [ZIM89a].

Aus Platzgründen und wegen der verlangten hohen Empfindlichkeit wurden die *Triggeradapter*-Karten in SMD¹-Technik aufgebaut. Durch die Verwendung von direkt auf der Platine platzierten Bauelementen konnte die Eingangsempfindlichkeit gegenüber einer konventionell aufgebauten Testschaltung von $10mV$ auf $2 - 4mV$ verbessert werden. Die Entwicklung der Vorlagen für die industrielle Herstellung der Karten wurde auf einem CAD²-System der Firma CADNETIX bei **DESY** durchgeführt. Zur Illustration ist die obere der 6 Leiterbahnebenen (*Layer*) mit ihren Anschlußflächen (*Pad*) in Abbildung B.2 gezeigt. Die Abbildung entspricht der Originalgröße. Für erste Testmessungen mit dem *Triggeradapter* mußten insgesamt 3 Karten per Hand bestückt werden; aus Abbildung B.2 läßt sich erahnen, welche mühevollen Arbeit das bedeutet.

Abbildung B.3 zeigt Vorder- und Rückseite einer bestückten *Triggeradapter*-Karte.

¹ Surface-Mounted-Device (SMD)

² Computer-Aided-Design (CAD)

Baugröße	110 × 60mm ²
Bauweise	SMD-Technik
Komparator	LT1016
Betriebsspannung	+5.0V/ - 5.2V
Eingangsimpedanz	2 × 50Ω
Ausgangsimpedanz	2 × 50Ω
Ausgangsspannung	±5.0V TTL
Pulslänge	50ns
Anstiegszeit	10ns
interne Referenz	0... - 150mV
Schwelle	2... 600mV
Laufzeit	≈ 50ns

Tabelle B.1: Die Daten des Triggeradapters



4929-01

Trace 1 Top Layer

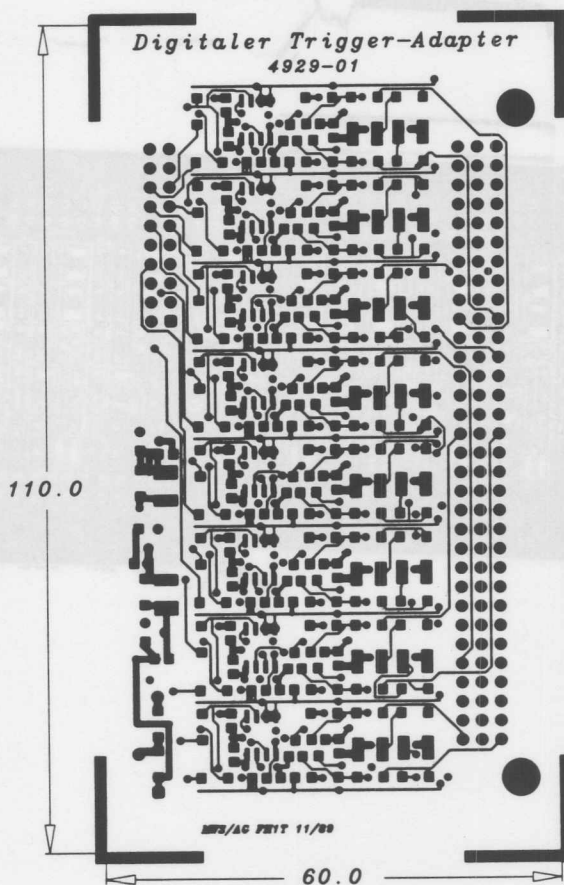


Abbildung B.2: Die obere Platinenseite in SMD-Technik

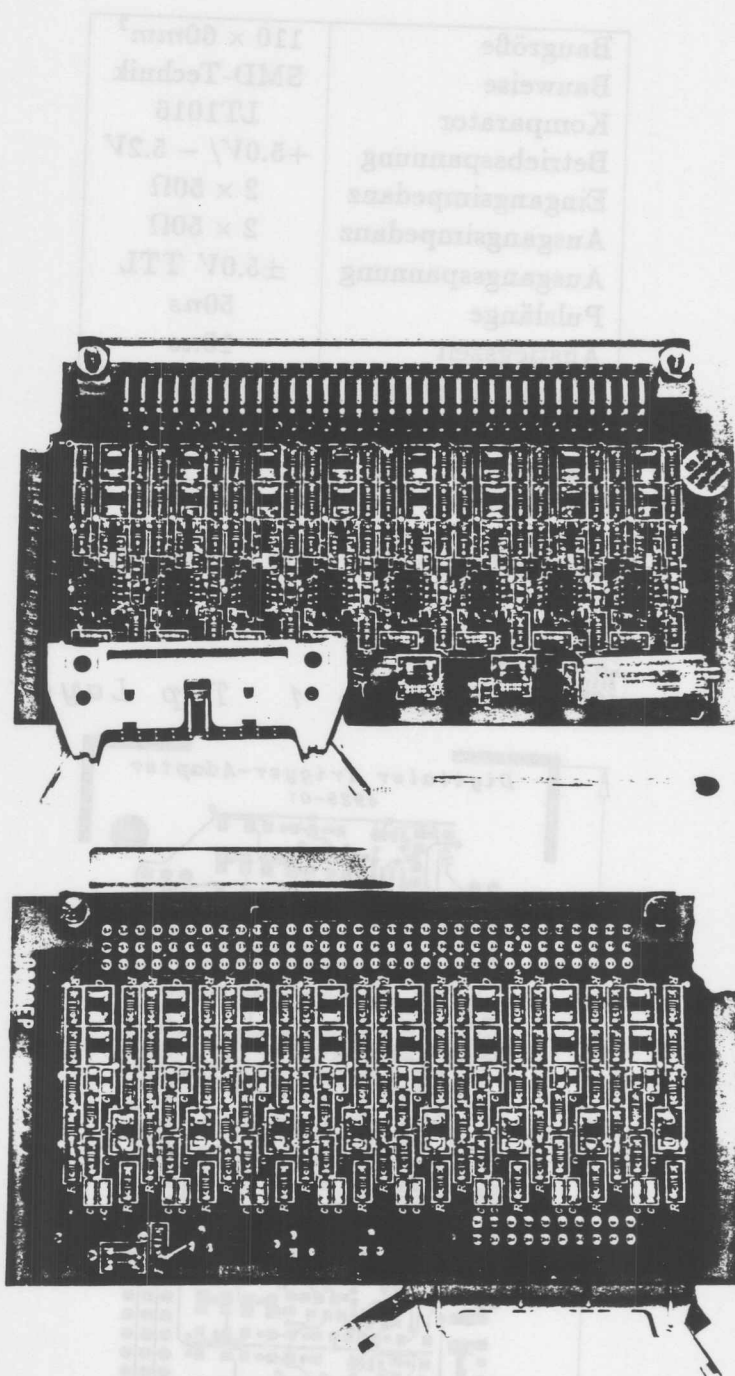


Abbildung B.3: Die Triggeradapter-Karte

Bestimmung der Diskriminatorschwelle

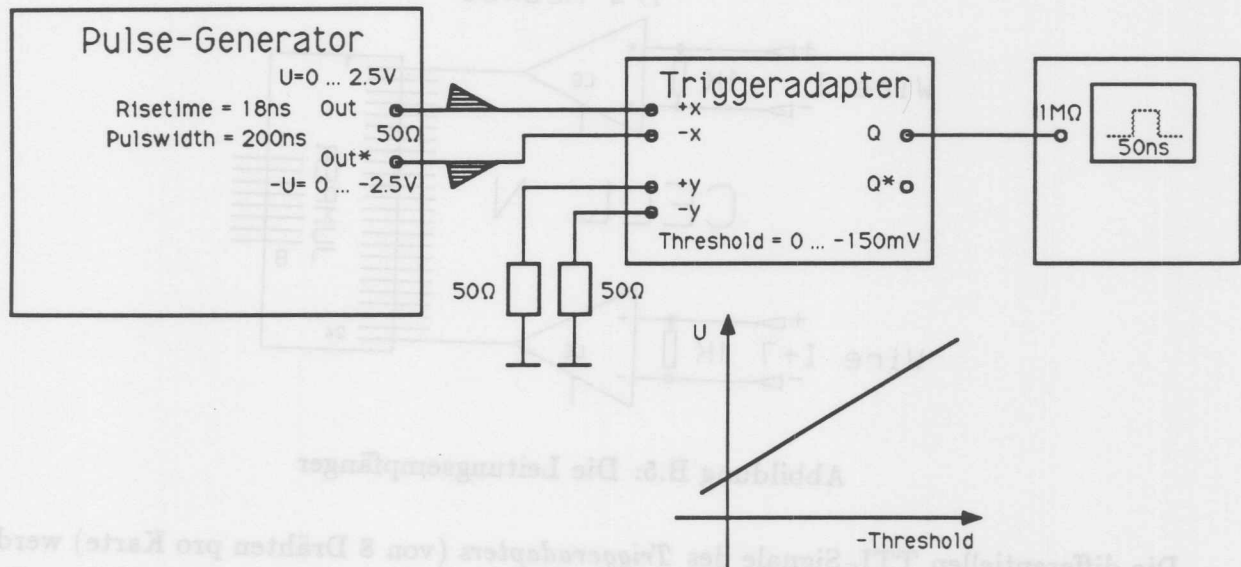


Abbildung B.4: Aufbau zur Bestimmung der Diskriminatorschwelle

Abbildung B.4 zeigt den Versuchsaufbau zur Vermessung der Diskriminatorschwelle für verschiedene interne Referenzspannungen U_{int} . Die Eichkurve des *Triggeradapters* ist in Abbildung 3.1 gezeigt. Die Ausgleichsgerade wird beschrieben durch:

$$U = -3.1 \cdot U_{int} + 17.1mV \quad (B.1)$$

B.2 Die Triggerlogik

Leitungsempfänger

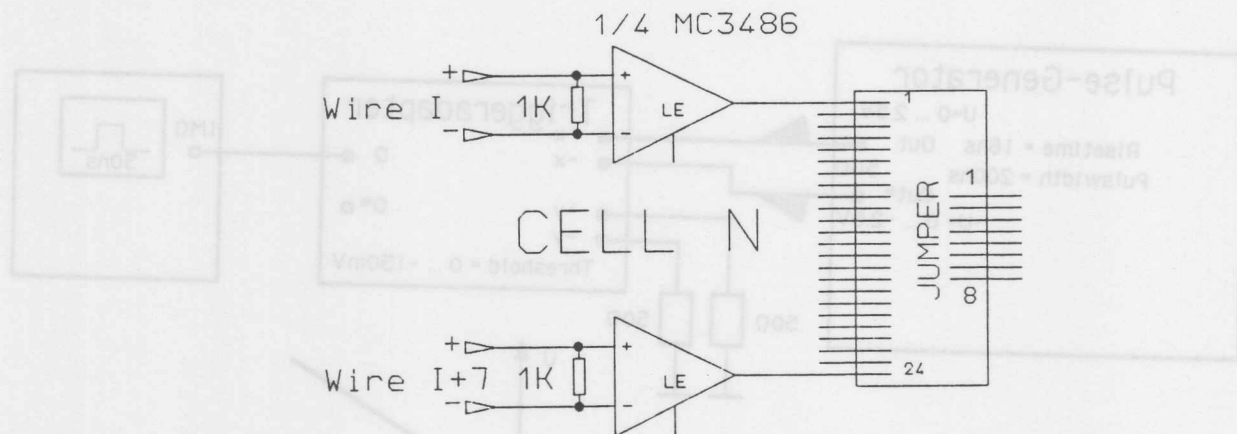


Abbildung B.5: Die Leitungsempfänger

Die differentiellen TTL-Signale des *Triggeradapters* (von 8 Drähten pro Karte) werden über Flachbandkabel mit paarweise verdrehten Leitungen zur Triggerlogik geleitet. Dort empfangen Leitungsempfänger (*Line Receiver*) die differentiellen Signale und wandeln sie in einfache TTL-Pulse. Der Eingangswiderstand der Bauteile ist sehr groß, so daß die Signale vollständig reflektiert werden (siehe Beschreibung des *Triggeradapters*). Um die Eingänge der Leitungsempfänger auf ein definiertes Potential zu bringen, sind sie über einen $1k\Omega$ -Widerstand verbunden. Die TTL-Ausganspulse werden an ein Stecksystem übergeben, mit dem aus den 3×8 Signalen einer Driftkammerzelle 8 Stück ausgewählt werden können. Es ergeben sich die in Kapitel 2.2 und 3.2 beschriebenen 8 *Drahtlagen* aus je 8 ausgewählten Drähten der 3 Driftkammerzellen.

Signalformer

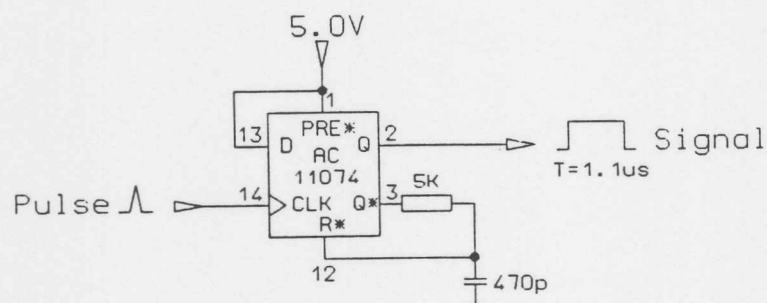


Abbildung B.6: Die Signalformer

Als Signalformer (*Shaper*) dienen D-Flipflops mit der in Abbildung B.6 gezeigten Beschriftung.

Der AC11074 Baustein ist in CMOS³-Technik aufgebaut (Betriebsspannung 5.0V, logisch LOW $U \leq 1.5V$, logisch HIGH $U \geq 3.5V$) und enthält zwei Flipflops mit separaten Ein- und Ausgängen pro Chip. Das positiv flankengesteuerte D-Flipflop setzt den Ausgang Q auf den Logikpegel des Eingangs D , wenn am Takteingang CLK ein Puls mit einer positiven Flanke erscheint. Die Setz- und Löscheingänge PRE^* und R^* sind negierend herausgeführt (logisch LOW aktiv) und haben höhere Prioritäten als die anderen Eingänge. Da der PRE^* -Eingang ständig auf logisch HIGH liegt und damit inaktiv ist, liegt der Ausgang Q im Grundzustand auf logisch LOW. Dementsprechend liegen Q^* und damit R^* auf logisch HIGH. Erscheint ein Taktsignal an CLK , springt Q auf logisch HIGH und Q^* auf logisch LOW. Der Kondensator des RC-Glieds entlädt sich dann über den Widerstand mit einer Zeitkonstanten $\tau = R \cdot C$ und erreicht an R^* nach $T = 0.7 \cdot \tau$ den Pegel logisch LOW; das D-Flipflop wird zurückgesetzt (aus [TEX89]). Bei der gewählten Dimensionierung bedeutet das eine Signalbreite an Q von $T = 1.1\mu s$, da $\tau = 1.65\mu s$.

Majoritätslogik

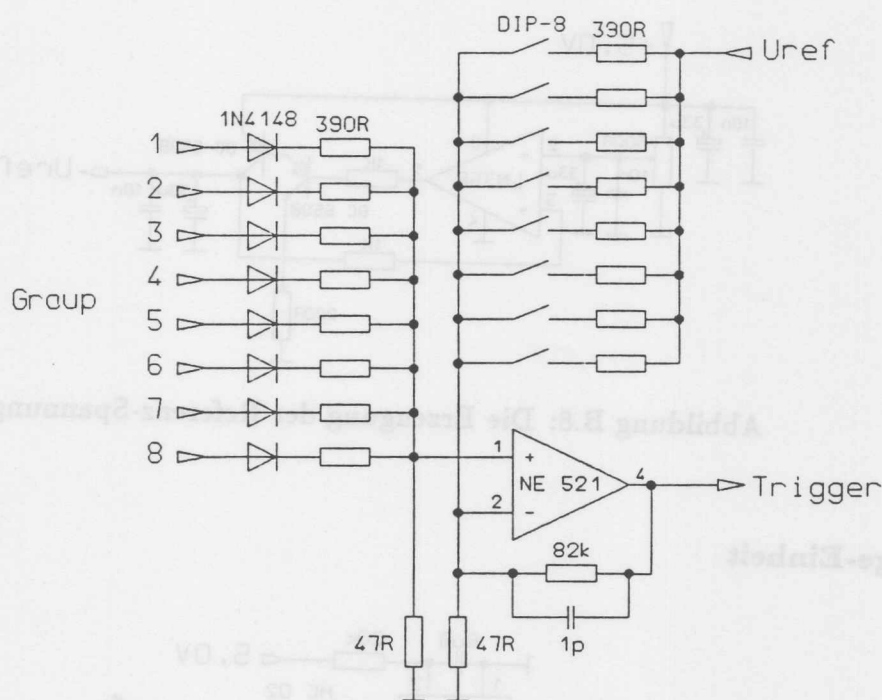


Abbildung B.7: Die Majoritätslogik

Eine *Majoritätslogik* liefert ein Ausgangssignal, wenn eine wählbare Anzahl von Eingängen (maximal 8) gleichzeitig logisch HIGH sind. Die verwendete *Majoritätslogik* ist analog aufgebaut, da für eine digitale Schaltung etwa $\binom{8}{5} = 56$ Gatter notwendig gewesen wären. Das Schaltbild zeigt Abbildung B.7.

Die 8 Eingangssignale stammen aus einem *Buffer* und haben TTL-Pegel ($\approx 4.3V$). Sie

³Complementary Metal Oxid Surface (CMOS)

werden über Dioden (Spannungsabfall $U_D \approx 0.6V$) zur Verhinderung von Rückwirkungen auf Widerstände gegeben. Die Anzahl der auf logisch HIGH liegenden Eingänge bestimmt dann die Gesamtspannung am +Eingang des Komparators:

$$U_+ = \left(\frac{R_2}{n \cdot R + R_2} \right) (U_{TTL} - U_D) \quad (B.2)$$

mit $R_2 = 47\Omega$ und $R = 390\Omega$. Dieser vergleicht die Summe mit einer Vergleichsspannung, die eingestellt werden kann. Ein frequenzabhängiges Rückkopplungsglied stabilisiert den Schaltvorgang (*Hysteresis*).

Um die Bedienung zu vereinfachen, ist die Vergleichsspannung in Stufen schaltbar, wobei durch eine Referenzspannung eine Feineinstellung der Grundspannung möglich ist. Nach entsprechender Adjustierung kann mit einem DIP-8-Schalter die Anzahl der nötigen Eingänge, die auf logisch HIGH liegen sollen, um ein Ausgangssignal zu erzeugen, vorgegeben werden. Die Referenzspannung U_{ref} wird von der in Abbildung B.8 gezeigten Schaltung erzeugt. Der Einstellbereich ist $2.0 \leq U_{ref} \leq 4.0V$ bei einem maximalen Strom von $60mA$.

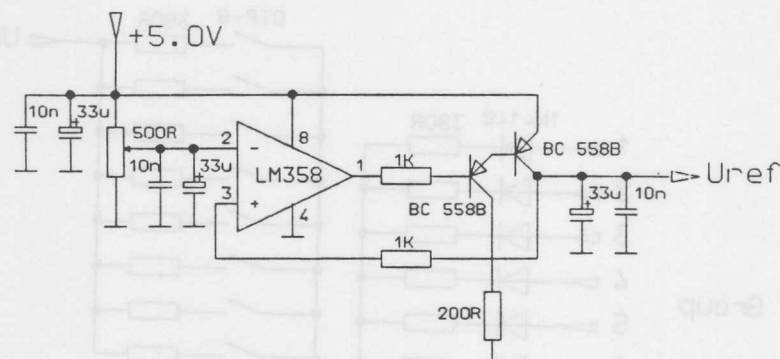


Abbildung B.8: Die Erzeugung der Referenz-Spannung

Anzeige-Einheit

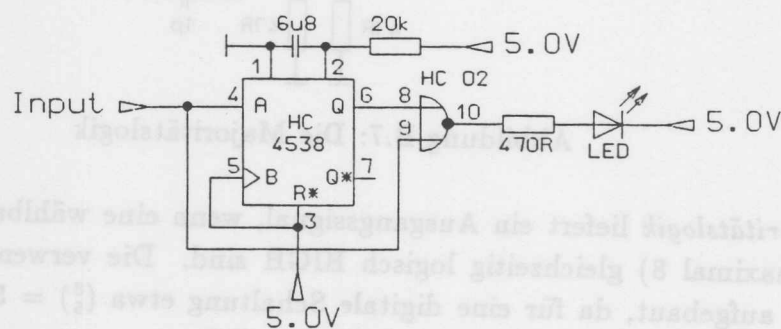


Abbildung B.9: Die LED-Treiber

Zur Steuerung der Kontroll-LEDs auf der Vorderseite der Triggerlogik-Karte dient die Schaltung in Abbildung B.9. Sie hat die Aufgabe, den Zustand des Triggerausgangs (*Trigger*) und des Aktivierungseingangs (*Enable*) für etwa 100ms anzuzeigen.

Ein Signal an Eingang A (*Input*) setzt das Monoflop für die Zeit $T = 0.7 \cdot R \cdot C = 95ms$. Ist das Eingangssignal in dieser Zeit wieder verschwunden, erlischt die LED; bleibt es länger bestehen, leuchtet die LED wegen des ODER-Gatters weiter.

Betriebsspannungen

Die Betriebsspannung bezieht die gesamte *Triggerlogik* aus dem Auslese-Überrahmen über die Spannungsversorgung auf dem VME-Bus. Die Belegung des VME-Buses ist in [ZIM89b] beschrieben.

Zur Siebung der Betriebsspannung sind für je zwei ICs ein Block- ($33\mu F$) und ein Hochfrequenzkondensator ($10nF$) vorgesehen.

Während des Betriebes muß die Triggerlogik-Karte in den Auslese-Überrahmen gesteckt werden; sie benötigt wegen der Anschlüsse der Leitungen von den *Triggeradaptern* 2 FADC-Steckplätze.

Verwendete integrierte Bausteine

Modul	Anzahl	je Chip	Typ	Hersteller
Leitungsempfänger	72	4	MC 3486	Motorola
3-ODER-Gatter	8	3	AC 11027	TI
Buffer	1	1	AC 11240	TI
D-Flipflop	8	4	AC 11074	TI
Komparator	1	2	NE 521	
50Ω-Treiber	1	2	SN 74S140	TI
2-ODER-Gatter	2	2	74HC02	Motorola
Monoflop	2	2	HEF 4538	Philips

Tabelle B.2: Die integrierten Bausteine der Triggerlogik

Die Platzierung der Bauteile und die Anschlußbelegung der Triggerkarte sind in Abbildung B.10 skizziert.

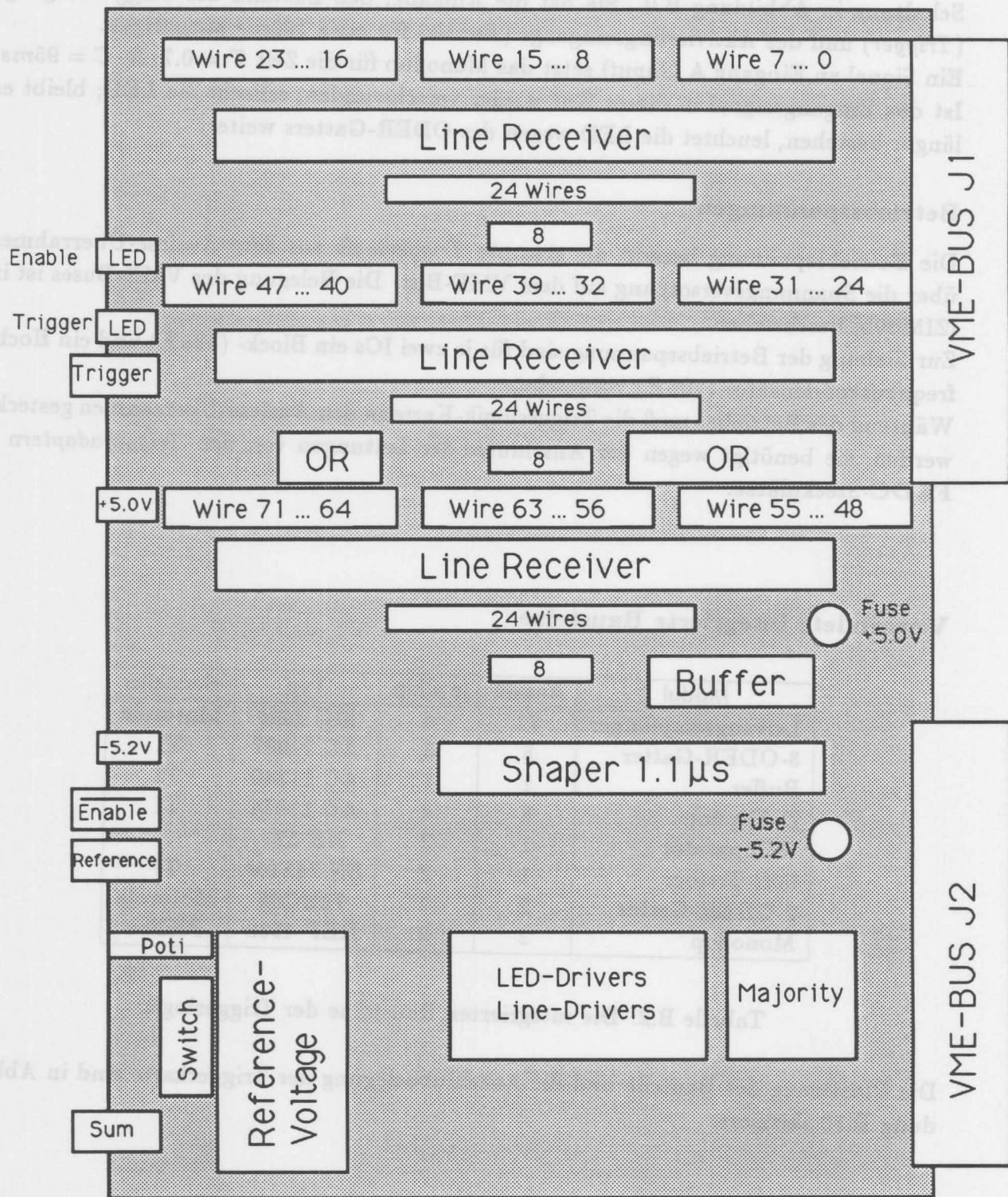


Abbildung B.10: Die Triggerelektronik und ihre Anschlußbelegung

Anhang C

Anhang: Der FSP-Teststand

C.1 Der Teststand

Der Teststand mit dem **FSP** im Teststrahlgebiet 22 der Experimentierhalle II ist in Abbildung C.1 gezeigt. Der **FSP** befand sich im Magneten 2022 (siehe Abbildung C.2), da zur gleichen Zeit Testläufe mit Magnetfeld durchgeführt wurden (siehe [RAU90]). Er war so um seine Längsachse (z -Achse in Drahttrichtung) gedreht, daß der Kammermittelpunkt der **CJC** und das Szintillatorrohr auf dem Einfallslot der kosmischen Höhenstrahlung lagen. Dadurch wurde gewährleistet, daß die meisten kosmischen Myonen Spuren erzeugen, die den Wechselwirkungspunkt kreuzen und damit der **H1**-Topologie entsprechen. Der **FSP** wurde mit einer Gasmischung aus Argon und Ethan im Verhältnis 50:50 betrieben, die auch für die **CJC** nach der Einlaufphase verwendet werden soll. Die Parameter des **FSP** und der **CJC** in der Testphase sind in Tabelle C.1 aufgelistet.

Kammer		FSP		CJC
Gasmischung		Ar/C ₂ H ₆ 50:50		Ar/CO ₂ /CH ₄ 89:10:1
Draht	Abk.	Spannung [V]	Strom [μ A]	Spannung [V]
Kathode	CC	-5582	475	-4394
Feld	LVF1	350	36.2	207
	LVF3	349	34.7	247
	LVF4	234	40.7	237
	LVF7	209	46.1	176
	LVCC	54	316	
Signal	SENSE	1488	0.003	1343
Driftfeld		120V/mm		95V/mm
Driftgeschwindigkeit		53 μ m/ns		52 μ m/ns
Oberflächenfeld		24kV/mm		24.2kV/mm
Gasverstärkung		40,000		40,000

Tabelle C.1: Arbeitspunkte der Driftkammern (aus [SCH90a] bzw. [SAN90])

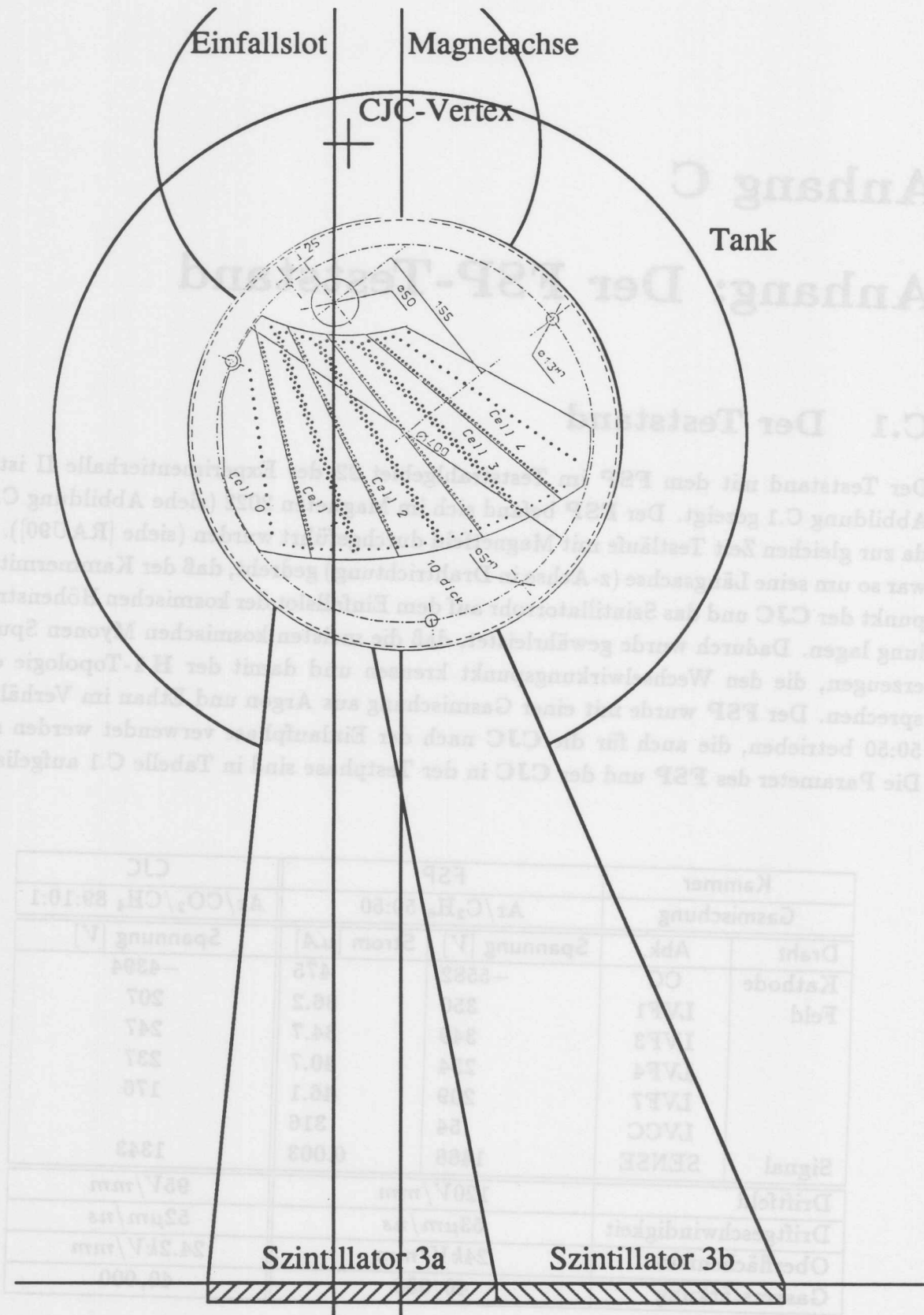


Abbildung C.1: Der Teststand mit dem FSP

Kammer		Gasmischung	
Dreh	Katode	Spannung [V]	Strömung [mA]
0	C	-550	7.5
LVT1	Feld	35	8.2
LVT3		3	4.7
LVT4		2	0.7
LVT7		3	8.1
LVC		2	2.6
SENSE		2	0.03
Signal		95V/mm	52µm/ns
Drift		2.5V/mm	5000

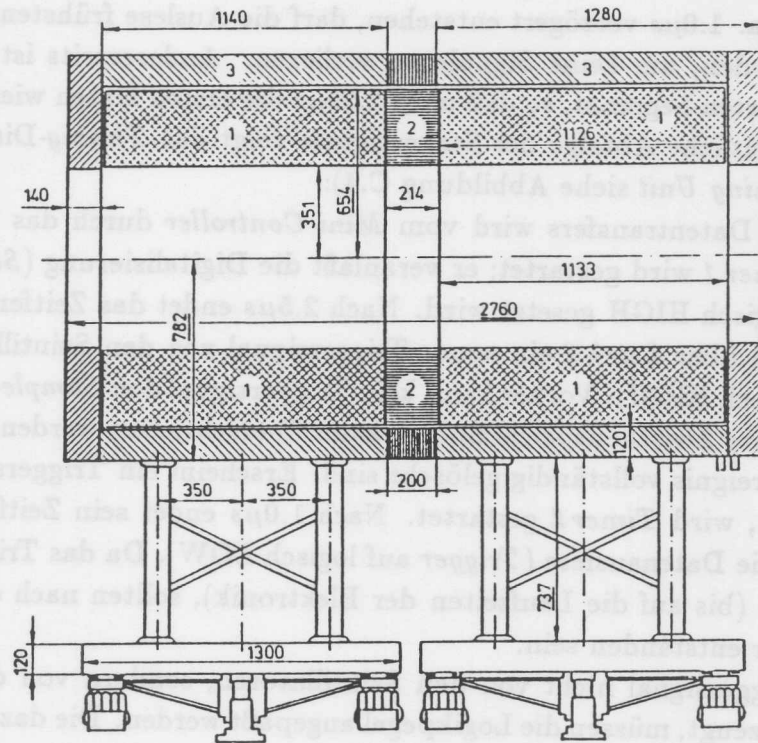


Abbildung C.2: Der Magnet 2022 beim Teststrahl 22

C.2 Das Szintillator-Triggersystem

Das Szintillator-Triggersystem verwendete 4 Szintillatoren aus dem Material NE110 mit Photoelektronen-Vervielfachern¹ vom Typ XP2230B, die mit einer Betriebsspannung von $U_{HV} = 2000V$ betrieben wurden.

Der Sz1 befand sich auf dem Magneten, wurde aber nicht verwendet. Sz2 befand sich in dem dafür vorgesehenen Rohr im FSP. Sz3a und Sz3b waren unter dem Magneten installiert und wurden jeweils in Koinzidenz mit Sz2 betrieben. Die Zählraten für Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung sind in Tabelle C.2 aufgelistet. Die Verschaltung der Szintillatoren ist in Abbildung C.3 gezeigt. Das Ausgangssignal des Diskriminators (LeCroy623B) mit einer Schwelle $U_{Schwelle} = -30mV$ wurde dann dem FTDC²-Kanal 1 und der *Timing Unit* (siehe Abbildung C.4) zugeleitet.

Die Aufgabe der *Timing Unit* ist es, die zeitliche Abfolge der Datenauslese zu steuern. Den Datentransfer von den FADC-Karten zum Auslese-Rechner regelt der *Mini-Controller*. Die Auslese-Elektronik wird im sogenannten *Common Stop Mode* betrieben, d.h., die Driftkammer-Signale werden kontinuierlich digitalisiert und zyklisch in einen $2.56\mu s$ tiefen Zwischenspeicher geschrieben. Ein Triggersignal stoppt die Auslese und veranlaßt den *Mini-Controller*, die Daten zu übertragen. Das Ende des Datentransfers zeigt der *Mini-Controller* durch ein *Veto-Signal* an. Da die Signale bis zur maximalen

¹Photomultiplier (PM)

²Flash-Time-to-Digital-Converter (FTDC)

Driftzeit von ca. $1.0\mu s$ verzögert entstehen, darf die Auslese frühestens nach dieser Zeit angehalten werden, um keine Signale zu verlieren. Andererseits ist die Speichertiefe der FADC-Karten begrenzt, so daß nach $2.56\mu s$ die ersten Daten wieder überschrieben werden. Die zeitliche Abfolge der Steuersignale zeigt das *Timing*-Diagramm in Abbildung C.6 (*Timing Unit* siehe Abbildung C.4):

Das Ende des Datentransfers wird vom *Mini-Controller* durch das *Veto*-Signal angezeigt. Der *Timer 1* wird gestartet; er veranlaßt die Digitalisierung (*Sample*), indem der *Trigger* auf logisch HIGH gesetzt wird. Nach $2.5\mu s$ endet das Zeitfenster von *Timer 1*. Erst jetzt wird über *Latch 2* ein neues Triggersignal von den Szintillatoren zugelassen (*Logic* auf logisch HIGH). Vorher kann kein Triggersignal den *Sample*-Vorgang stoppen, und der gesamte Zwischenspeicherinhalt kann überschrieben werden, damit die Daten vom letzten Ereignis vollständig gelöscht sind. Erscheint ein Triggersignal (*Trigger* auf logisch HIGH), wird *Timer 2* gestartet. Nach $1.0\mu s$ endet sein Zeitfenster und stoppt über *Latch 1* die Datenauslese (*Trigger* auf logisch LOW). Da das Triggersignal prompt erzeugt wurde (bis auf die Laufzeiten der Elektronik), sollten nach dieser Zeit alle Signale der Spur entstanden sein.

Wird das Triggersignal nicht von den Szintillatoren, sondern von dem Driftkammer-Spurtrigger erzeugt, müssen die Logikpegel angepaßt werden. Die dazu nötige Schaltung zeigt Abbildung C.5.

Koinzidenz	Position	Rate [Hz]
(Sz 1)	(oben)	52.5 ± 0.8
Sz 2	Rohr	11.2 ± 0.3
Sz 3a	unten l	36.9 ± 0.6
Sz 3b	unten r	45.5 ± 0.7
Sz 2 + Sz 3a		0.44 ± 0.02
Sz 2 + Sz 3b		0.66 ± 0.04

Tabelle C.2: Typische Zählraten des Szintillator-Triggersystems

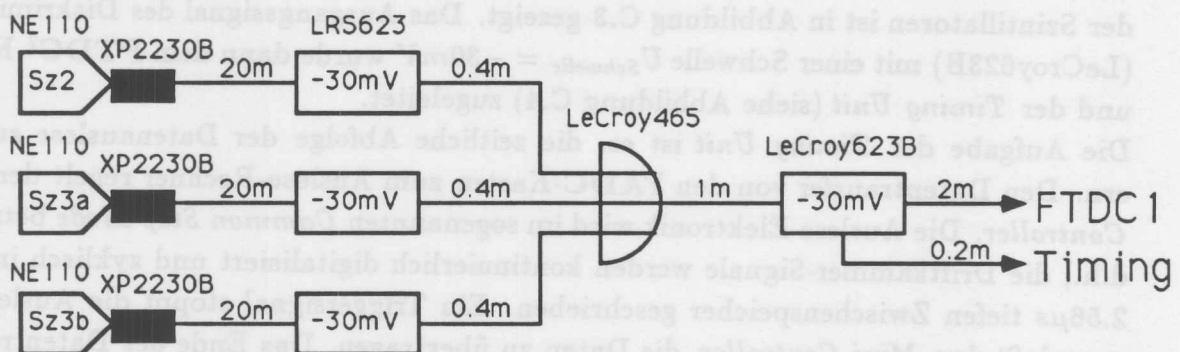


Abbildung C.3: Die Koinzidenz der Szintillatoren

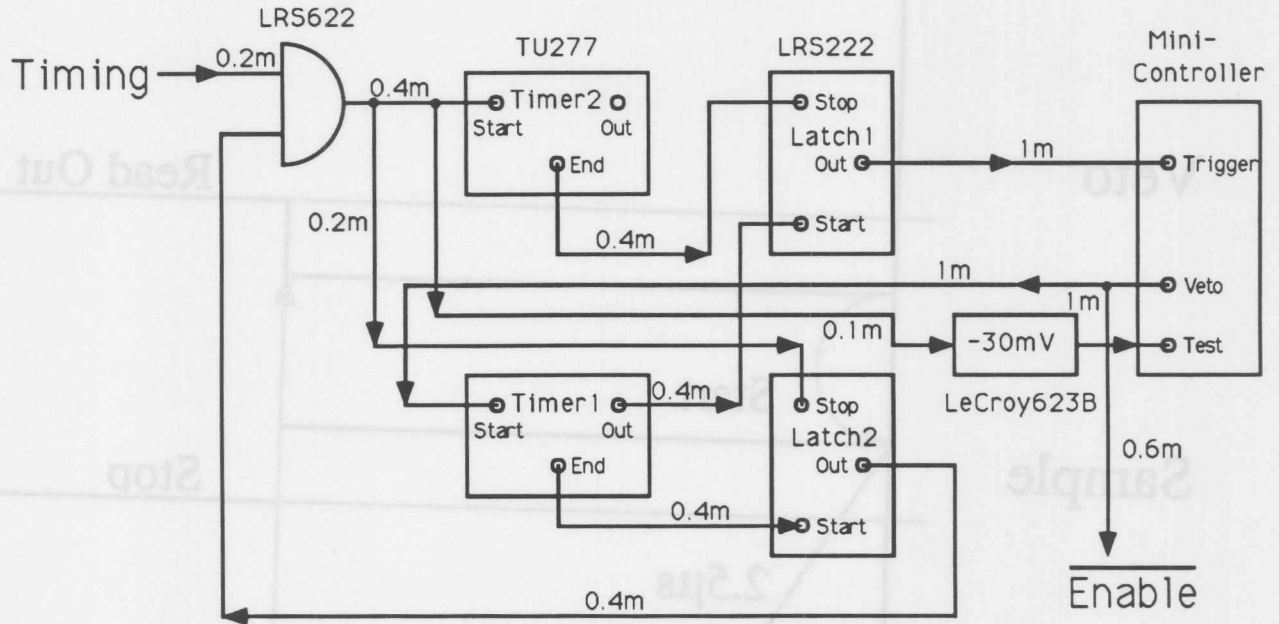


Abbildung C.4: Die *Timing Unit*

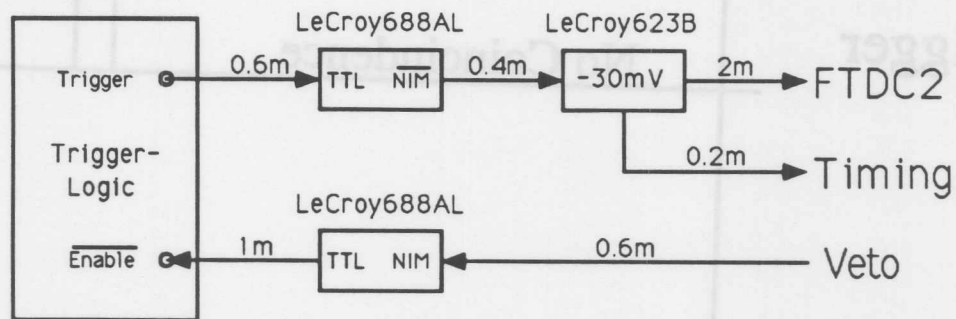


Abbildung C.5: Die Anpassung der Triggersignale

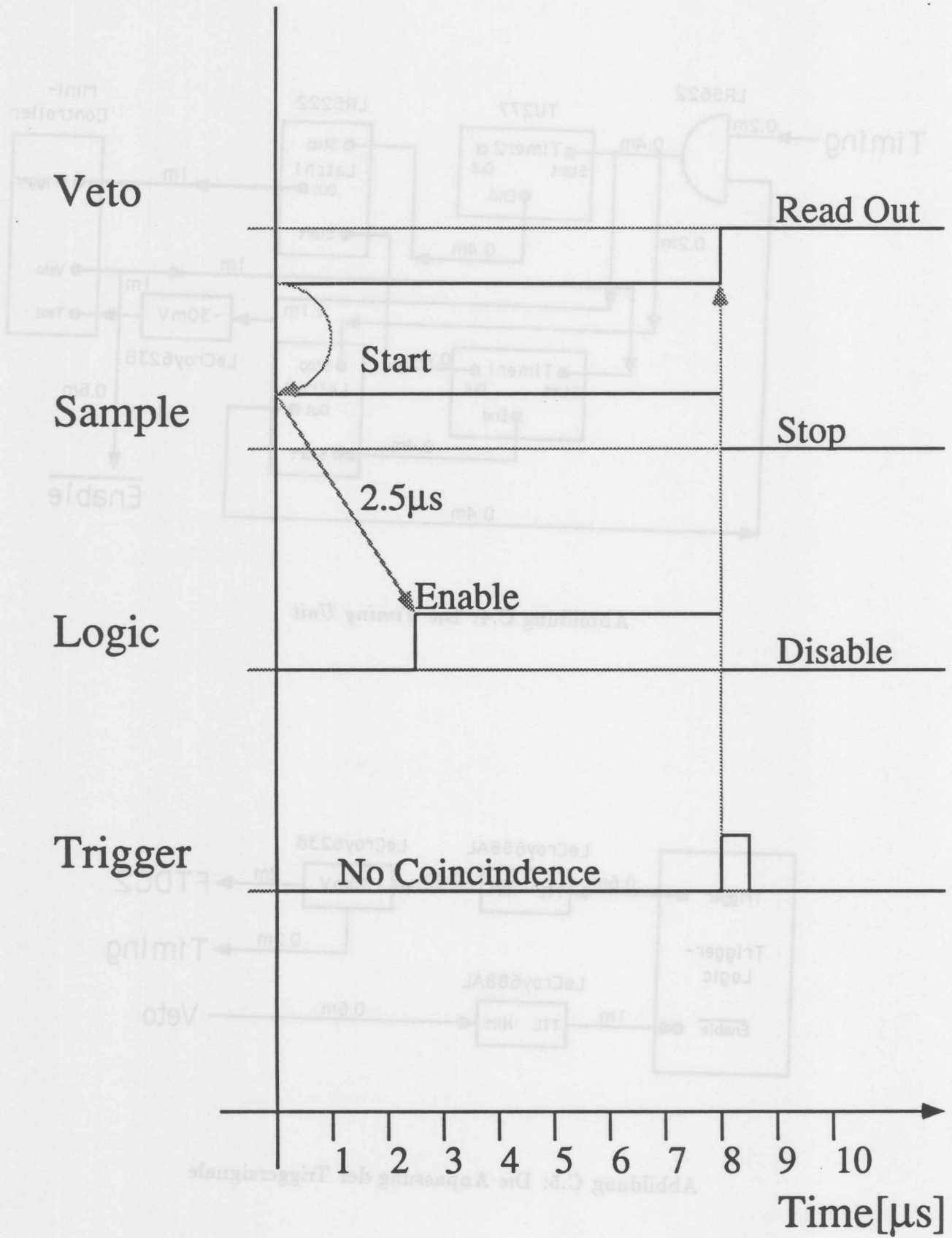


Abbildung C.6: Das *Timing* der Steuersignale

Verteilung der Treffer pro Ereignis

In Abbildung D.3 ist die Verteilung der Treffer auf den Signaldrähten pro Ereignis histogrammiert. Die Daten stammen aus den Digitalisierungen. Als Treffer gilt dabei jeder Teil eines Signals der unterhalb der Null-Unterschwelle der FADC beginnt. Die Verteilung hat ihr Maximum bei 28 Treffern pro Ereignis, was auf eine typische Landau-Verteilung mit bis zu 100 Treffern, die auf eine große Anzahl von Messungen zurückzuführen ist. Bei früheren Untersuchungen (SCH90) war aufgefunden, dass viele Signale

Anhang D

Anhang: Die Driftkammersignale

Verteilung der Ladung

In Abbildung D.1 ist die Gesamtladung der Drähte, die durch eine *QT-Analyse* ([STE90]) berechnet wurde, histogrammiert. Es ergibt sich die typische *Landau-Verteilung* ([KLE87], [SAU77]).

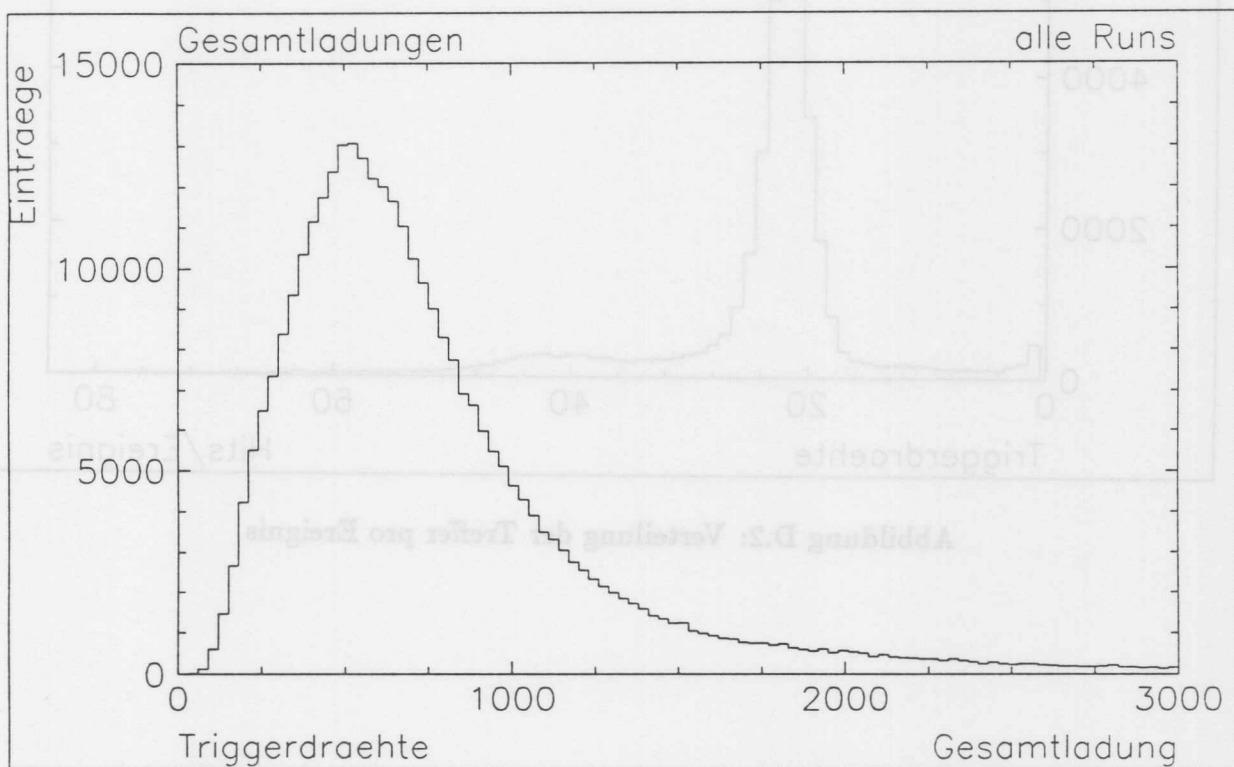


Abbildung D.1: Verteilung der Gesamtladungen

Verteilung der Treffer pro Ereignis

In Abbildung D.2 ist die Verteilung der Treffer auf den Signaldrähten pro Ereignis histogrammiert. Die Daten stammen aus den Digitalisierungen. Als Treffer gilt dabei jeder Teil eines Signals der unterhalb der Null-Unterdrückung der FADC beginnt. Die Verteilung hat ihr Maximum bei 25 Treffern pro Ereignis; es gibt aber auch Ereignisse mit bis zu 100 Treffern, die auf eine große Anzahl von Mehrfach-Treffern schließen lassen. Bei früheren Untersuchungen ([SCH90c]) war aufgefallen, daß vielen Signalen sogenannte Nachschwinger durch Leitungsreflexionen folgen; auch diese wurden hier mitgezählt.

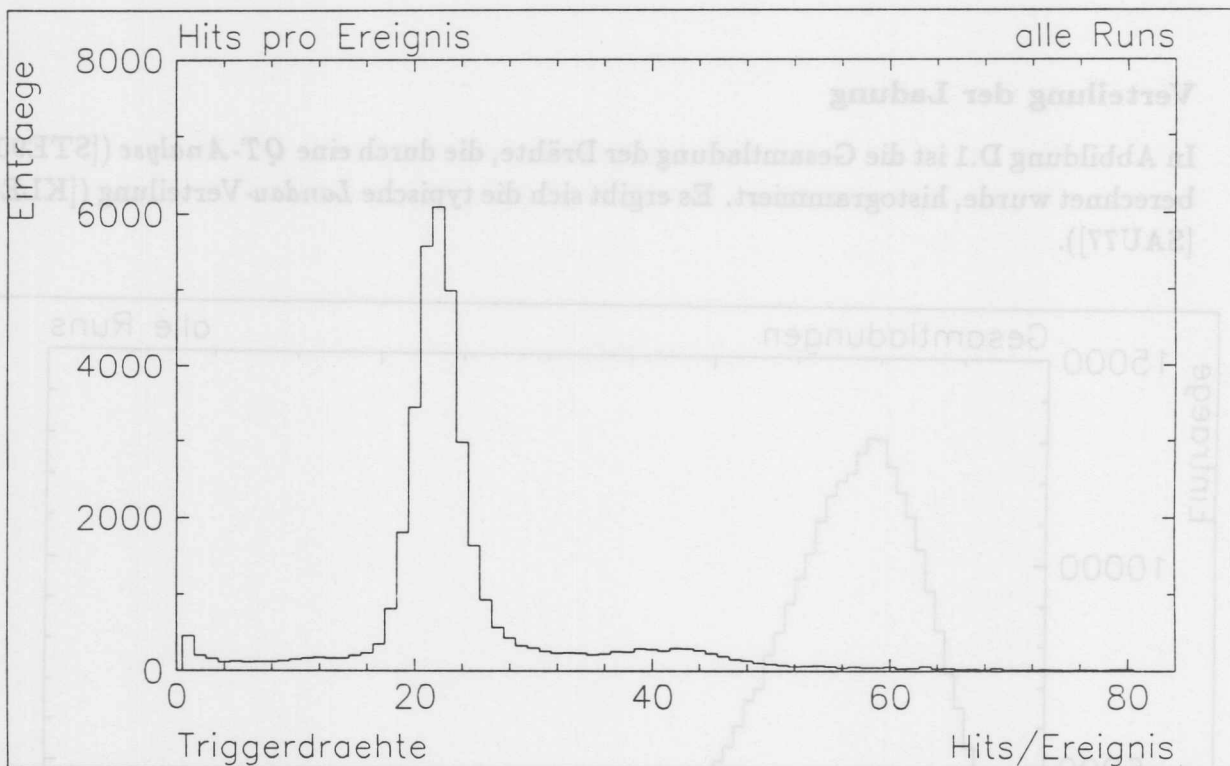


Abbildung D.2: Verteilung der Treffer pro Ereignis

Literaturverzeichnis

- [BEH89] H.-J. Behrend, R. Stephens,
Proposal for a Jetchamber Trigger,
DESY H 1 Tracking Note Nr. 108 (1989)
- [BLO88] V. Blobel,
The BOS System Dynamic Memory Management, Second Updated Printing
FORTRAN77 Version,
DESY Internal Report R1-88-01 (1988)
- [BLO90] V. Blobel,
LOOK — A System for Data Analysis,
DESY Interne Dokumentation (1990)
- [BRE90] H. Bretschneider,
Untersuchung zur Strahlenfestigkeit eines Prototypen für die zentrale Driftkammer
des H1-Experimentes,
Diplomarbeit Hamburg (1990)
- [BUE89] J. Bürger, H. Spitzer, P. Steffen et al.,
The Central Jet Chamber of the H1-Experiment,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A279 (1989)
- [DAT89] *Particle Properties Data Booklett*
from "Review of Particle Properties",
Physics Letters B204 (1988)
- [DUE89a] D. Düllmann,
Aufbau und Untersuchung eines Flash-ADC-Systems zur Digitalisierung von
Analog- und Zeitsignalen und seine Anwendung bei der Analyse von hochenergeti-
schsen Luftschauern,
Diplomarbeit Hamburg (1989)
- [DUE89b] D. Düllmann, H. Klär, M. Schulz, P. Steffen,
The Flash-TDC,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A275 (1989)

- [EIC90] R. Eichler, U. Straumann, Th. Wolff et al.,
Technical Proposal for a Driftchamber r - ϕ Trigger,
DESY H1 Tracking Note Nr. 503 (1990)
- [GRU84] C. Grupen,
Neuigkeiten aus der Physik der kosmischen Strahlung,
Universität Siegen Si-84-7 (1984)
- [H1C88] H1 Collaboration,
H1-A detector for HERA,
DESY Internal Report H1-05/88-85 Hamburg (1988)
- [HEI90] G. Heinzlmann,
Hochenergetische γ -Astronomie,
Vortrag Maria Laach (1990)
- [JEA79] B. Jean-Marie et al.,
Systematic Measurement of the Electron Drift Velocity and Study of some Properties of four Gas Mixtures,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research 159 (1979)
- [JOH89] K. Johannsen,
Messungen zur Ortsauflösung an einem Prototypen für die H1-Jetkammer mit unterschiedlichen Gasmischungen und Vorverstärkern,
Diplomarbeit Hamburg (1989), DESY Interner Bericht FH1T-89-05 (1989)
- [KLA89] H. Klär,
Triggerbare Signalgeneratoren für einen Pipeline TDC,
Diplomarbeit Hamburg (1989), DESY Interner Bericht FH1T-89-02 (1989)
- [KLA90] H. Klär,
Persönliche Mitteilung,
Hamburg (1990)
- [KLE87] K. Kleinknecht,
Detektoren für Teilchenstrahlung,
Teubner (1987)
- [PEC87] R.D. Peccei,
Proceedings of the HERA workshop,
Hamburg (1987)
- [PRO86] H1 Collaboration,
Technical Proposal for the H1-Detektor,
DESY Hamburg (1986)

- [PRO87] H 1 Collaboration,
Technical Progress Report,
DESY Hamburg (1987)
- [RAU90] Th. Rautenstrauch,
Driftkammerstudien am Full-Size-Prototypen der H 1-Driftkammer im Magnetfeld,
Diplomarbeit in Vorbereitung Hamburg (1990)
- [REU88] R. Reumann,
Aufbau und Test eines Szintillatortriggersystems für Driftkammern,
Diplomarbeit Hamburg (1988), DESY Interner Bericht F14-88-01 (1988)
- [SAN90] H. Sand,
Persönliche Mitteilung,
Hamburg (1990)
- [SAU77] F. Sauli,
Principles of Operation of Multiwire Proportional and Drift Chambers,
CERN 77-09 (1977)
- [SCH88] M. Schulz,
Aufbau und Test von Prototypen für eine hochauflösende Driftkammer,
Diplomarbeit Dortmund (1988)
- [SCH89] R. Schmidt,
Vorbereitende Studien zum Bau und Betrieb des Full-Size-Prototypen für die zentrale Jetkammer des Detektors H 1,
Diplomarbeit Hamburg (1989), DESY Interner Bericht FH1T-89-04 (1989)
- [SCH90a] M. Schernau,
Aufbau und Test des Full-Size-Prototypen für die zentrale Jetkammer des H 1-Detektors,
Diplomarbeit Hamburg (1990), DESY Interner Bericht FH1T-90-02 (1990)
- [SCH90b] M. Schernau,
Bestimmung der Ortsauflösung des Full-Size-Prototypen für die zentrale Jetkammer des H 1-Detektors,
DESY H 1 Tracking Note Nr. 3 (1990)
- [SCH90c] M. Schernau,
Persönliche Mitteilung,
Hamburg (1990)
- [SCH90d] E. Schenuit,
Driftgeschwindigkeiten in verschiedenen Gasmischungen,
Dissertation Hamburg (1990)

- [STE90] P. Steffen,
Persönliche Mitteilung,
Hamburg (1990)
- [TEX89] The TTL Data Book,
Advanced CMOS Logic,
Texas Instruments (1989)
- [WOL86] G. Wolf,
HERA : Physics, Machine and Experiments,
DESY Interner Bericht 86-089 (1986)
- [WOL89] Th. Wolff,
Schnelle Spurerkennung im H1-Detektor,
Diplomarbeit Hamburg (1989), DESY Interner Bericht F56-89-01 (1989)
- [ZIM89a] W. Zimmermann,
Persönliche Mitteilung,
Hamburg (1989)
- [ZIM89b] W. Zimmermann,
F1001, Beschreibung des F1001 Systems,
DESY Interne Dokumentation des F1001 Systems (1989)
- [ZIM89c] W. Zimmermann,
F1021, Beschreibung des F1021 Systems,
DESY Interne Dokumentation des F1021 Systems (1989)
- [SCH90a] M. Scherz,
Aufbau und Test des Fall-Siege-Prototypen für die zentrale Jetkammer des H1-Detektors,
Diplomarbeit Hamburg (1990), DESY Interner Bericht F117-90-02 (1990)
- [SCH90b] M. Scherz,
Bestimmung der Ortsauflösung des Fall-Siege-Prototypen für die zentrale Jetkammer des H1-Detektors,
DESY H1 Tracking Note Nr. 2 (1990)
- [SCH90c] M. Scherz,
Persönliche Mitteilung,
Hamburg (1990)
- [SCH90d] E. Schmidt,
Dreißigminütigen in verschiedenen Gaseinschnitten,
Dissertation Hamburg (1990)

Danksagung

Ich möchte mich bei allen Mitgliedern der Gruppe FH1T bedanken, die zum Zustandekommen dieser Arbeit beigetragen haben:

Herrn Prof. Dr. H. Spitzer und Herrn Dr. P. Steffen danke ich für die Aufgabenstellung und die offizielle Betreuung der Arbeit.

Herrn M. W. Schulz danke ich für die Betreuung der Arbeit.

Herrn Dr. J. Schug und Herrn Dr. L. Smolik danke ich für ihre ständige Diskussionsbereitschaft und ihre unentbehrlichen Ratschläge bei der Auswertung und der Anfertigung der Arbeit.

Den Elektronikern der Gruppe FH1T, insbesondere Herrn Dipl. Ing. H. Klär und Herrn Dipl. Ing. W. Zimmermann, danke ich für ihre Hilfe bei der Konzeption und der Realisierung der Triggerelektronik.

Herrn Th. Rautenstrauch danke ich für die tatkräftige Unterstützung während der Testläufe mit dem Full-Size-Prototypen, ohne die ich nicht ausgekommen wäre.

Außerdem möchte ich mich ausdrücklich bei allen nicht namentlich erwähnten Mitgliedern der Gruppe FH1T, insbesondere den Diplomanden und Doktoranden, für die vielen guten Tips und die überaus angenehme Arbeitsatmosphäre bedanken.

Ich versichere, daß ich die Arbeit nur unter Zuhilfenahme der angegebenen Quellen und Hinweise selbständig angefertigt habe.

Hamburg, den 24.10.1990

(Andreas Gellrich)

