# Monitoring für das Innere Spurkammersystem von HERA-$B$

**Fakultät für Physik und Astronomie**
**Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg**

Diplomarbeit im Studiengang Physik

vorgelegt von Verena Buchholz
aus Offenburg

Februar 2000

# Inhaltsverzeichnis

## Zusammenfassung

HERA-$B$ ist ein Experiment zur Messung der CP-Verletzung in den Zerfällen neutraler B-Mesonen am Speicherring HERA des DESY in Hamburg. Zur Erzeugung der B-Mesonen verwendet es ein internes Drahttarget im Halo des 920 GeV Protonenstrahls. Die geplante Wechselwirkungsrate beträgt 40 MHz.

Die Universitäten Heidelberg, Siegen und Zürich haben dafür Gas-Mikrostreifenkammern (MSGCs) mit einer Vorverstärkerfolie (GEM) entwickelt, die zur Spurrekonstruktion in der Nähe des Strahlrohrs im Inneren Spurkammersystem eingesetzt werden.

Diese Arbeit behandelt im ersten Teil die Implementierung eines Programms zur Überwachung der Datenqualität des Inneren Spurkammersystems bei HERA-$B$. Im zweiten Teil wird mit den bereitgestellten Werkzeugen das Verhalten der Detektoren im Betrieb bei HERA-$B$ betrachtet. Angefangen wird mit der Überprüfung der Einstellungen des Auslesesystems, dann werden Pulshöhenspektren, Streifenmultiplizitäten und Belegungsdichten untersucht.



## Abstract

HERA-$B$ is an experiment to study CP-violation in the system of neutral B-mesons which is located at the storage ring HERA at DESY in Hamburg. To produce these B-mesons the experiment uses an internal target in the halo of the 920 GeV proton beam. The nominal interaction rate is 40 MHz.

The universities Heidelberg, Siegen and Zürich developed for this experiment micro strip gaseous chambers (MSGCs) with a gas electron multiplier, the GEM-foil. These detectors are needed for the track reconstruction near the beam-pipe in the Inner Tracker.

The first part of the thesis presented here describes the implementation of the monitoring for the inner tracking system of HERA-$B$. In the second part, the performance of the detectors is investigated with the monitoring tools. The settings of the readout system are checked and then pulseheight spectra, strip multiplicities and occupancies are investigated.

# Kapitel 1

# Einleitung

## 1.1 Aufbau der Arbeit

Am Teilchenbeschleuniger HERA (Hadron Elektron Ring Anlage) des DESY (Deutsches Elektronen Synchrotron) in Hamburg geht das Experiment HERA-$B$ in Betrieb, das die Verletzung der $CP$-Symmetrie im System neutraler $B$-Mesonen messen soll.

Das Physikalische Institut der Universität Heidelberg hat gemeinsam mit den Universitäten Siegen und Zürich für dieses Experiment die Aufgabe übernommen, den Teil des Spurkammersystems zu bauen, der den Bereich höchster Teilchendichte um das Strahlrohr herum abdeckt, das „Innere Spurkammersystem“ oder den „Inner Tracker“ (ITR).

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen der Arbeitsgruppe des Inneren Spurkammersystems durchgeführt und hatte zum Ziel, Programme bereitzustellen, die es erlauben, den Zustand der Detektoren während der Datennahme kontinuierlich zu überwachen und zu untersuchen. Diese Arbeit beschreibt den Aufbau des Monitorings für das Innere Spurkammersystem, dessen Einsatz und das Betriebsverhalten des Detektors im Betrieb bei HERA-$B$.

In den ersten beiden Kapiteln werden kurz die physikalischen Grundlagen und der Aufbau des Experimentes HERA-$B$ erläutert. Dabei wird besonderer Wert auf die Beschreibung des Inneren Spurkammersystems gelegt.

Im dritten Kapitel wird das Konzept und der Aufbau des Monitorings erklärt. Das vierte Kapitel behandelt den Einsatz des Monitorings und erste Erfahrungen mit dem Betriebsverhalten des Detektors.

Während des Zeitraums dieser Arbeit befand sich das Innere Spurkammersystem im Aufbau. Innerhalb des Jahres meiner Diplomarbeit wurden alle für die Spurfindung benötigten Kammern installiert und in Betrieb genommen.

## 1.2 Theoretische Grundlagen

Symmetrien sind in der Physik ein fundamentales Konzept zum Verständnis von Erhaltungssätzen. Tritt nun eine unerwartete Verletzung einer Symmetrie auf, so muß diese verstanden werden. Das Hauptziel des Experimentes HERA-$B$ liegt im Studium der $CP$-Verletzung im B-Mesonen-System [1, 2]. Mit der Messung soll gezeigt werden, ob die Größe der Verletzung allein durch das Standardmodell erkärt werden kann. Dies ist unter anderem deshalb interessant, weil es scheint, als ob die durch das Standardmodell beschreibbare Größe der $CP$-Verletzung nicht ausreichend ist, um die Materie-Antimaterie-Asymmetrie im Universum zu erklären.

**Diskrete Transformationen und das CPT-Theorem.** Die Teilchenphysik kennt im wesentlichen drei diskrete Symmetrieoperationen, $C$, $P$ und $T$. Die Ladungskonjugation $C$ ist eine Transformation, die Teilchen in ihre Antiteilchen überführt. Die Paritätstransformation $P$ ist eine Punktspiegelung am Ursprung und $T$ ist die Zeitumkehr. Über das $CPT$-Theorem sind diese drei Operationen miteinander verknüpft. Das $CPT$-Theorem [3, 4] besagt, daß physikalische Gesetze in einer relativistischen lokalen Feldtheorie unter der kombinierten Anwendung der $CPT$ Transformation invariant sind. Eine Verletzung von $CP$ ist also unter recht allgemeinen Voraussetzungen einer Verletzung der Zeitumkehr äquivalent. Die Erhaltung von $CPT$ bedeutet, daß Massen und Lebensdauern von Teilchen und Antiteilchen gleich sind. Bis jetzt ist das $CPT$-Theorem mit allen experimentellen Beobachtungen verträglich.

**CKM-Matrix.** Theoretisch werden Übergänge zwischen den Quarkarten, die durch die schwache Wechselwirkung möglich werden, im Standardmodell durch die Cabibbo-Kobayashi-Maskawa-Matrix (CKM-Matrix) beschrieben [5]:

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-\frac{\lambda^2}{2} & \lambda & \lambda^3 A(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1-\frac{\lambda^2}{2} & \lambda^2 A \\ \lambda^3 A(1-\rho-i\eta) & -\lambda^2 & 1 \end{pmatrix}$$

Laut einer Forderung des Standardmodells muß die Mischungsmatrix unitär sein, wenn es genau drei Quarkarten gibt. Die Zahl der ursprünglich 18 Freiheitsgrade reduziert sich durch die Unitarität der Matrix auf neun. Weil die Quarkphasen nicht beobachtet werden können, reduziert sich die Zahl der unabhängigen Parameter noch einmal um fünf, so daß in der Parametrisierung von Wolfenstein [6] die Matrix durch drei reelle Parameter ($\lambda$, $\rho$ und $A$) und einen imaginären Parameter (die Phase $i\eta$) beschrieben werden kann. Die letzte in der Gleichung oben angegebene Darstellung der CKM-Matrix ist die Parametrisierung nach Wolfenstein, dabei wurde die Matrix nach $\lambda = \sin\theta_{Cabibbo}$ bis zur dritten Ordnung entwickelt. Ausschlaggebend für die Erhaltung oder Verletzung von $CP$ ist die komplexe Phase der CKM-Matrix. Ist die Phase ungleich Null, dann ist $CP$ verletzt, und das Standardmodell kann diese Verletzung erklären.

**Unitaritätsdreieck.** Aus der Forderung der Unitarität von $V_{CKM}$,

$$V_{CKM}V^*_{CKM} = \mathbb{1},$$

folgt unter anderem die Gleichung

$$V_{ud}V^*_{ub} + V_{cd}V^*_{cb} + V_{td}V^*_{tb} = 0.$$

In der Wolfenstein-Parametrisierung mit der Näherung $V_{ud} \approx 1$, $V_{td} = 1$ und $V_{cd} = -\lambda$ stellt diese Gleichung in der komplexen $(\rho, \eta)-$ Ebene ein Dreieck dar (vgl. Abb.1.1). Der Winkel $\beta$

läßt sich dann folgendermaßen ausdrücken:

$$\beta = \arg\left(-\frac{V_{cd}V_{cb}^*}{V_{td}V_{tb}^*}\right).$$

Die Winkel $\alpha$, $\beta$ und $\gamma$ des Unitaritätsdreiecks sind unabhängig von der verwendeten Phasenkonvention und eignen sich daher als Meß- und Vergleichsgrößen. Die Fläche des Dreiecks ist ein Maß für die Größe der Nichterhaltung von $CP$ [7]. Das Hauptziel des Experimentes HERA-$B$ ist die Messung von $\sin 2\beta$, d.h. die Bestimmung eines Winkels des Unitaritätsdreiecks.

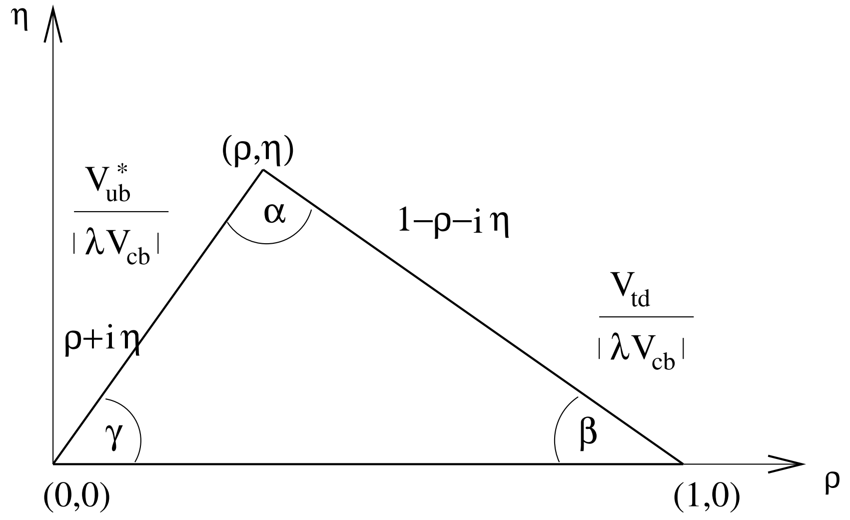



Abbildung 1.1: *Das normierte Unitaritätsdreieck in der $\rho - \eta$ Ebene der Wolfensteinparametrisierung.*

**CP-Verletzung.** Die $CP$-Verletzung wurde im Jahr 1964 im $K^0$-$\bar{K}^0$-System von Christenson, Cronin, Fitch und Turlay entdeckt [8]. Die $CP$-verletzenden Effekte im $K^0 - \bar{K}^0$- System sind allerdings sehr klein, sie liegen im Promillebereich.

Wie im Kaon-System gibt es im B-System zwei Flavoureigenzustände $B^0$ und $\bar{B}^0$. Die beiden $CP$-Eigenzustände lassen sich daraus durch Linearkombination bilden:

$$|B_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|B^0\rangle + |\bar{B}^0\rangle) \quad \text{mit} \quad CP|B_1\rangle = +1 \cdot |B_1\rangle$$

$$|B_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|B^0\rangle - |\bar{B}^0\rangle) \quad \text{mit} \quad CP|B_2\rangle = -1 \cdot |B_2\rangle.$$

Ein B-Meson kann entweder direkt oder über Mischung in einen $CP$-Eigenzustand zerfallen:

$$B^0 \to X \quad \text{oder} \quad B^0 \to \bar{B}^0 \to X.$$

Hierbei sind die $X$ $CP$-Eigenzustände, z.B. $\pi^+\pi^-$. Die $CP$-Verletzung entsteht durch Interferenz des direkten Zerfalls mit dem Zerfall, bei dem vorher ein Übergang in das Antiteilchen stattfindet. Die Quarkinhalte der Teilchen sind in Tabelle 1.1 zusammengefaßt.

Unter der Annahme, daß die beobachtete $CP$-Verletzung durch die CKM-Matrix bedingt ist, erwartet man im $B^0/\bar{B}^0$-System eine sehr viel größere Asymmetrie der Zerfallsraten

$$A = \frac{\Gamma(B^0 \to X) - \Gamma(\bar{B}^0 \to X)}{\Gamma(B^0 \to X) + \Gamma(\bar{B}^0 \to X)}$$

als man sie im $K^0/\bar{K}^0$-System kennt. Das Ziel von HERA-$B$ ist es, $CP$-Verletzung im $B^0/\bar{B}^0$-System nachzuweisen und durch redundante Messungen zu überprüfen, ob diese mit dem Standardmodell in Einklang sind. Einige andere Experimente wie BaBar (am SLAC in Kalifornien), BELLE (am KEK in Japan), CDF, $D0$ (am Fermilab) und CLEO II (am CESR in Ithaca) verfolgen das gleiche Ziel.

**Der goldene Zerfall.** Wichtig ist es nun, einen Zerfall zu finden, in dem möglichst wenige unbekannte Parameter vorkommen. Ein Kandidat dafür ist beispielsweise der „Goldene Zerfall"

$$B_d^0/\bar{B}_d^0 \to J/\psi K_S^0 \to l^+ l^- \pi^+ \pi^-$$

(s. Abb. 1.2), der Zerfall von $B_d^0$- und $\bar{B}_d^0$-Mesonen in den $CP$-Eigenzustand $J/\Psi K_S^0$. Dieser Zerfall hat nur ein kleines Verzweigungsverhältnis von etwa $5 \cdot 10^{-4}$.

| Teilchen | besteht aus |
|---|---|
| $B_d^0, \bar{B}_d^0$ | $\bar{b}d, b\bar{d}$ |
| $B_s^0, \bar{B}_s^0$ | $\bar{b}s, b\bar{s}$ |
| $B^+, B^-$ | $u\bar{b}, \bar{u}b$ |
| $\pi^+, \pi^-$ | $u\bar{d}, \bar{u}d$ |
| $K^+, K^-$ | $u\bar{s}, \bar{u}s$ |
| $K^0, \bar{K}^0$ | $d\bar{s}, \bar{d}s$ |
| $K_S^0$ | $(\bar{s}d + s\bar{d})/\sqrt{2}$ |
| $D^0, \bar{D}^0$ | $c\bar{u}, \bar{c}u$ |
| $J/\Psi$ | $c\bar{c}$ |

Tabelle 1.1: *Übersicht über die auftretenden Teilchen.*

**Messung der $CP$-Verletzung.** Der einfachste Nachweis der $CP$-Verletzung, der bei HERA-$B$ durchgeführt werden soll, ist die Messung der zeitintegrierten Asymmetrie

$$\begin{aligned} A_{int} &= \frac{\Gamma(B_d^0 \to J/\Psi K_S^0) - \Gamma(\bar{B}_d^0 \to J/\Psi K_S^0)}{\Gamma(B_d^0 \to J/\Psi K_S^0) + \Gamma(\bar{B}_d^0 \to J/\Psi K_S^0)} \\ &= \frac{\int n(t)\,dt - \int \bar{n}(t)\,dt}{\int n(t)\,dt + \int \bar{n}(t)\,dt} \\ &= \frac{x_d}{1+x_d^2}\sin(2\beta) \end{aligned}$$

im $B \to J/\Psi K_S^0$-Zerfall (dies gilt unter der Annahme, daß bekannt ist, ob ein $B^0$ oder ein $\bar{B}^0$ zerfallen ist). Der Mischungsparameter $x_d = \Delta M/\Gamma$ beträgt etwa 0,7 [10], dabei steht $\Delta M$ für die Massendifferenz der Masseneigenzustände und $\Gamma$ für die Zerfallsbreite. Die Zerfallsraten $n(t)$ und $\bar{n}(t)$ sind für reine $B^0$- bzw. reine $\bar{B}^0$-Mesonen als Funktion der Lebensdauer gegeben durch:

$$n(t) \propto e^{-t}(1 + \sin 2\beta \sin xt) \qquad \bar{n}(t) \propto e^{-t}(1 - \sin 2\beta \sin xt)$$

mit der Zeit in Einheiten der mittleren Lebensdauer $\tau$.

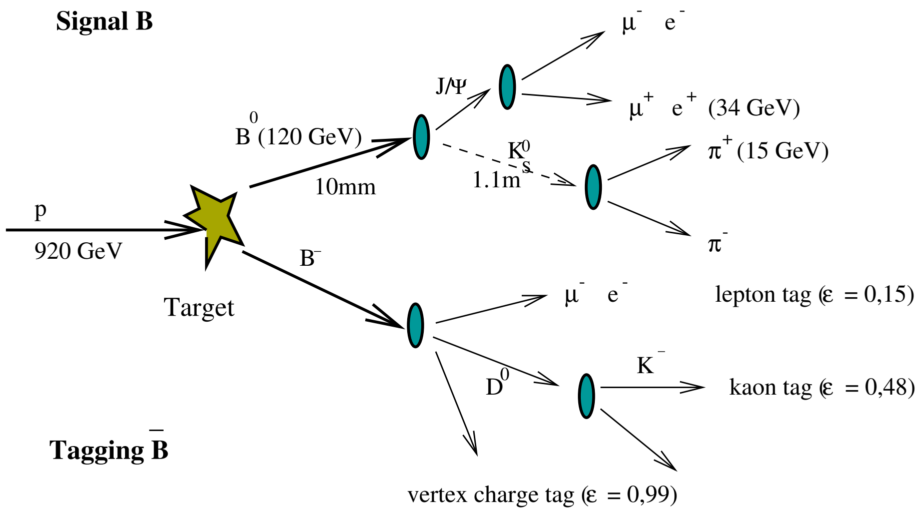



Abbildung 1.2: *Der als „Goldener Kanal“ bezeichnete Zerfall mit seinen Nachweisteilchen. Im oberen Ast zerfällt das $B^0$-Meson nach etwa 10 mm Flugstrecke in ein $J/\Psi$ und ein $K_S^0$. Genutzt werden die Zerfallskanäle des Übergangs $J/\Psi$ in ein Leptonenpaar $e^+e^-$ oder $\mu^+\mu^-$ und der Zerfall $K_S^0$ in $\pi^+\pi^-$. Im unteren Ast das zweite B-Meson wird zum „Tagging“ benutzt: anhand der hier entstehenden Teilchen kann man feststellen, ob ein $B^0$- oder ein $\bar{B}^0$ zerfallen ist [9].*

**Signatur des Goldenen Zerfalls.** Der „Goldene Zerfall“ (s.Abb.1.2) kann aufgrund folgender Merkmale vom Untergrund getrennt werden:

- durch das Leptonpaar aus dem $J/\Psi$-Zerfall. Dieser Zerfall findet typischerweise etwa 10 mm vom Primärvertex entfernt statt, während die meisten anderen Teilchenspuren aus dem Primärvertex stammen. Die Triggerbedingung fordert also ein entgegengesetztes Paar Leptonen, die von einem Sekundärvertex stammen.
- durch den Zerfall des $K_S^0$ in ein geladenes Pionenpaar. Dieser Zerfall findet im Mittel 1,1 m vom Sekundärvertex entfernt statt.

**Tagging.** Die Messung der Asymmetrie erfordert die Bestimmung der Flavourquantenzahl des in den goldenen Kanal zerfallenen $B$-Mesons. Dazu dient das sogenannte „Tagging“. Jeweils das zweite bei der Wechselwirkung

$$p + N \rightarrow b\bar{b} + X \rightarrow B^0 + B^{\pm} + Y$$

neben dem $B^0$ entstandene geladene B-Meson wird zur Ladungsbestimmung genutzt. In der Gleichung stehen N für Nukleonen, X und Y für hadronische Reste. Möglichkeiten zur Ladungsbestimmung sind in Abb.1.2 angedeutet:

- Bestimmen der Ladung des zweiten $B$-Mesons (charge tagging).
- Bestimmen der Ladung des bei dessen Zerfalls entstandenen Leptons mit $p > 5\,\mathrm{GeV/c}$ oder $p_T > 0,8\,\mathrm{GeV/c}$ (lepton tagging). Durch die Grenzen sollen Leptonen aus anderen Zerfällen unterdrückt werden.
- Bestimmen der Ladung des Kaons mit $5 < p < 50\,\mathrm{GeV/c}$, das aus dem Zerfall $b \to c \to s$ (in $B^{\pm} \to D^0, \bar{D}^0 \to K^{\pm}$) des zweiten $B$-Mesons stammt (kaon tagging).

**Weitere Messungen.** Neben der Messung des Winkels $\beta$ des Unitaritätsdreiecks verfolgt das Experiment HERA-$B$ noch weitere Ziele:

- die Messung des Winkels $\alpha$ des Unitaritätsdreiecks über den Zerfallskanal $B_d^0, \bar{B}_d^0 \to \pi^+\pi^-$,
- die Messung des Winkels $\gamma$ über die Zerfälle $B_s^0 \to K_S^0\rho^0$ und $B_s^0 \to D_s K$,
- sowie die Messung der Flavouroszillation im $B_s^0$-System.

## 1.3 Der Speicherring HERA am DESY

Der Elektron-Proton-Speicherring HERA hat einen Umfang von 6,3 km. Der Ring mit seinen Vorbeschleunigern PETRA und DESY ist in Abbildung 1.3 dargestellt. Die Protonen werden auf eine Energie von 920 GeV und die Elektronen oder Positronen auf eine Energie von etwa 27,5 GeV beschleunigt und dann in HERA in getrennten Ringen gespeichert. HERA-$B$ ist neben H1, ZEUS und HERMES das vierte Experiment am Speicherring, dabei werden in den Experimenten H1 und ZEUS die beiden Strahlen zur Kollision gebracht, während HERMES nur den Elektronenstrahl nutzt und HERA-B nur den Protonenstrahl.

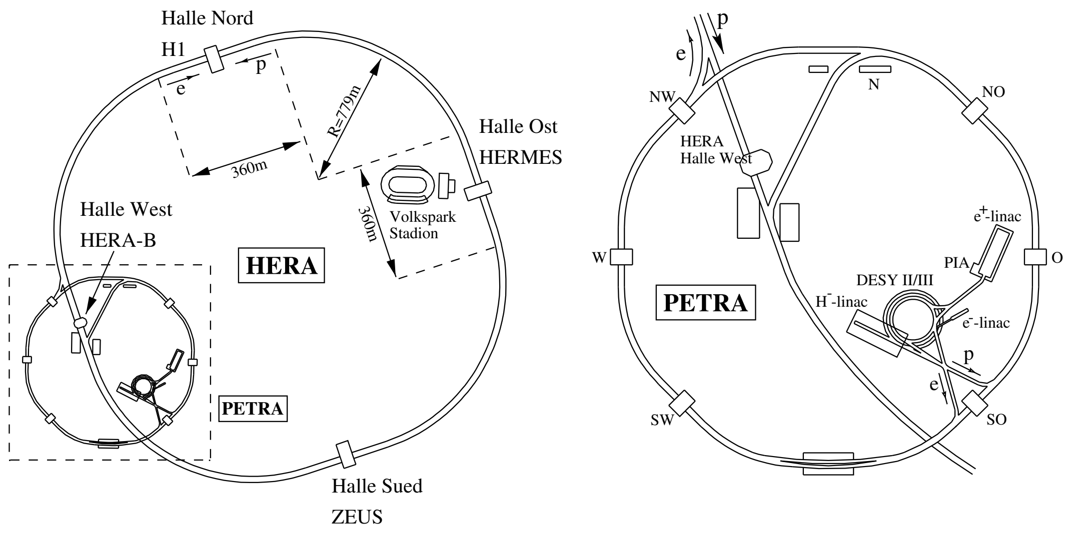



Abbildung 1.3: *Links der HERA-Speicherring. Der Ausschnitt rechts stellt vergrößert die Vorbeschleuniger dar.*

Die Protonen durchlaufen einige Vorbeschleuniger, ehe sie in HERA auf ihre Endenergie beschleunigt werden. Der Protonenstrahl ist in 220 Pakete eingeteilt, die einen Abstand von 96 ns ($\widehat{=}$ 10,4 MHz) haben (s. Abb. 4.4). 180 von ihnen sind tatsächlich mit Protonen gefüllt, während die anderen 40 sogenannten Bunche leer sind.

Die im Speicherring gespeicherten Protonen können effektiv zur Erzeugung von $B$-Mesonen genutzt werden. Die B-Mesonen werden durch tiefinelastische Proton-Nukleon-Wechselwirkungen $p + N \to b\bar{b} + X$ erzeugt. Dafür wurde ein feststehendes Target entwickelt, das den Strahlhalo nutzt. Dabei wird die Lebensdauer und Ausdehnung des Protonenstrahls nur so wenig beeinflußt, daß den anderen Experimenten am Speicherring ihre Arbeit weiterhin ermöglicht wird. Bei einer Schwerpunktsenergie von $\sqrt{s} \approx 40$ GeV kann HERA-$B$ ausreichend viele B-Mesonen pro Jahr produzieren, um $CP$-Verletzung zu messen. Wegen des geringen Wirkungsquerschnitts für die Erzeugung eines $b\bar{b}$-Paares von etwa $\sigma_{b\bar{b}} = 20$ nb, der kleinen Verzweigungverhältnisse der interessanten Zerfälle $B^0 \to K^0_S J/\psi \to l^+l^-$ und $B^0 \to \pi\pi$, und der Rekonstruktionseffizienz des Detektors (s. Tab. 1.2) müssen pro Jahr etwa $O(10^{15})$ Wechselwirkungen stattfinden. Bei einer geschätzten Jahresbetriebszeit von $10^7 s$ entspricht das einer Wechselwirkungsrate von 40 MHz mit 4 bis 5 Wechselwirkungen pro Protonenpaket, die im Detektor überlagert werden[1]. Erst bei dieser Rate sieht man pro Jahr $O(1000)$ Goldene Zerfälle und kann die $CP$-Verletzung mit der erforderlichen Genauigkeit von $\delta \sin 2\beta = 0,1 \ldots 0,2$ messen.

| | |
|---|---|
| $\sigma_{inel}$ | 13 mb |
| $\sigma_{b\bar{b}}$ | 20 nb |
| $\sigma_{b\bar{b}}/\sigma_{inel.}$ | $1,5 \cdot 10^{-6}$ |
| Targetrate | 40 MHz |
| $\Rightarrow b\bar{b}$-Rate | 60 Hz |
| $P(b \to B^0) + P(b \to \bar{B}^0)$ | $\approx 0,8$ |
| $BR(B^0 \to J/\Psi K^0_S)$ | $\approx 5 \cdot 10^{-4}$ |
| $BR(J/\Psi \to \mu^+\mu^-)$ | $\approx 0,06$ |
| $BR(K^0_S \to \pi^+\pi^-)$ | $\approx 0,69$ |
| Trigger- und Rekonstruktionseffizienz | $\approx 0,15$ |
| Kaon-Tag-Effizienz | $\approx 0,45$ |
| Lepton-Tag-Effizienz | $\approx 0,15$ |

Tabelle 1.2: *Übersicht der Wirkungsquerschnitte, Verzweigungsverhältnisse und Effizienzen, die zur Abschätzung der erwarteten Produktionsrate des „Goldenen Zerfalls“ verwendet werden [1].*

Das Koordinatensystem von HERA-$B$ wird in Abbildung 1.4 gezeigt. Die x-Achse zeigt in der Ringebene auf das Zentrum von HERA. Die z-Richtung ist durch die Flugrichtung der Protonen gegeben und die z-Achse zeigt senkrecht zu den beiden anderen Achsen nach oben.

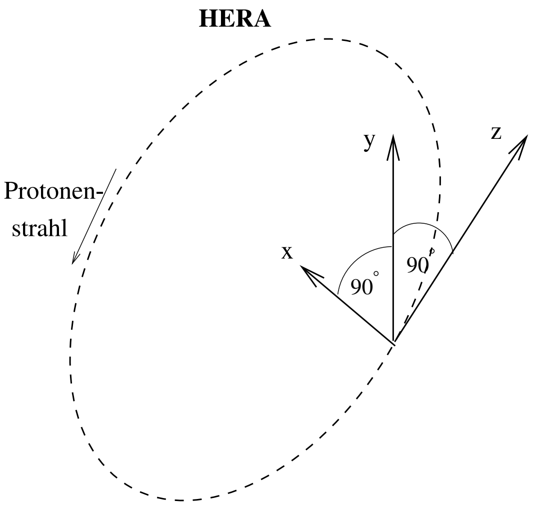



Abbildung 1.4: *Das Koordinatensystem von HERA-*B*. Die x-Achse zeigt in der Ringebene zum Zentrum, die z-Achse entlang des Protonenstrahls und die y-Achse senkrecht zu den beiden anderen nach oben.*

[1]Die Protonenpakete treffen mit etwa 10 MHz auf die Targetdrähte, dabei finden durchschnittlich vier bis fünf Wechselwirkungen statt. Daraus resultieren dann die 40 MHz.

## 1.4 Das Experiment HERA-$B$

Die Herausforderung bei diesem Experiment besteht darin, daß der „Goldene“ Zerfallskanal durch eine um zwölf Größenordnungen höhere Untergrundrate überdeckt wird.
Die wichtigsten Anforderungen an den Gesamtdetektor sind folgende:

- Das System muß die hohe Anzahl von Wechselwirkungen und damit auch von Spuren verarbeiten können. Die Spuren müssen alle einzeln nachweisbar sein, entsprechend muß die Granularität der Detektorkomponenten ausgelegt sein.
- Die Komponenten müssen der hohen Strahlenbelastung widerstehen oder austauschbar sein.
- Der Sekundärvertex vom Zerfall des $B$-Mesons muß erkannt werden zur Unterscheidung von direkt erzeugten und von aus dem gesuchten Zerfall stammenden $J/\Psi$.
- Der Detektor muß sehr effizient triggern, um die Ereignisrate auf ein Maß zu senken, so daß die Daten gespeichert werden können und um den Untergrund zu unterdrücken. Das stellt hohe Anforderungen an die Schnelligkeit der Auslese und an die Effizienz des Triggers. Dafür ist ein mehrstufiges Triggersystem vorgesehen.

### 1.4.1 Die Subdetektoren

Einen Überblick über den HERA-$B$-Detektor zeigt Abb. 1.5. Der Detektor ist ein magnetisches Vorwärtsspektrometer aus Magnet und Spurkammern. Zusätzlich gibt es Komponenten zur Identifizierung von Leptonen und zur Trennung von Kaonen und Pionen wie den Ring Imaging Čerenkov Zähler, das elektromagnetische Kalorimeter und das Myonensystem. Der Detektor deckt horizontal einen Winkelbereich von 10 bis 220 mrad ab und vertikal von 10 bis 160 mrad.

- **Target:** Das interne Target besteht aus zwei Stationen mit je vier Drähten, mit denen Protonen aus dem Strahlhalo wechselwirken. Die Position der Targetdrähte kann von außen gesteuert werden. Bei einer geplanten Wechselwirkungsrate von 40 MHz finden pro Bunch-Crossing (also pro Passieren eines Protonenbündels) mehrere Wechselwirkungen von Strahl und Target statt, der Detektor muß in der Lage sein, diese Vertizes aufzulösen. Der Elektronenstrahl von HERA geht ungenutzt durch das Experiment.
- **Vertexdetektor:** Der Vertexdetektor besteht aus Siliziumstreifendetektoren mit einer Auflösung von etwa 14 $\mu$m (etwa 500 $\mu$m in z) und mißt die Zerfallslänge der B-Mesonen und deren (sekundären) Zerfallsvertex. Der Vertexdetektor verwendet das gleiche Auslesesystem wie das Innere Spurkammersystem.
- **magnetisches Spektrometer:** Ein Dipolmagnet mit vertikalem Magnetfeld mit einer magnetischen Flußdichte von 0,8 T und ein Teil der Spurkammern vor und hinter dem Magneten dienen zur Messung der Teilchenimpulse durch Messung des Ablenkwinkels der Teilchen vor und hinter dem Magneten.
- **Spurrekonstruktion:** Zur Spurrekonstruktion der Sekundärteilchen dienen das Innere (Inner Tracker, ITR) mit zehn und das Äußere Spurkammersystem (Outer Tracker, OTR) mit dreizehn Stationen entlang der Strahlachse. Der sensitive Bereich der Inneren Spurkammern beginnt bei einem Abstand $|x| = |y| = 4{,}5$ cm vom Strahlrohr und reicht bis 25 cm. Der ITR hat eine sehr feine Granularität und ist aus Gas-Mikrostreifenkammern

(Micro Strip Gas Chamber, MSGC) mit einer Verstärkerfolie (Gas Electron Multiplier, GEM) aufgebaut. Durch ihn gehen etwa 45% der Spuren aus dem Goldenen Zerfall. Der OTR deckt den äußeren Bereich ab und besteht aus Waben-Driftkammern unterschiedlicher Zellengröße.

- **High-$p_T$-System**[2]**:** Das High-$p_T$-System dient dazu, bei der Messung des Winkels $\alpha$ des Unitaritätsdreiecks den Zerfall $B^0 \to \pi^+\pi^-$ zu identifizieren und liefert dazu Pretriggerinformationen. Das System besteht aus Gaspixel- und Straw-Tube-Kammern.

Zur Teilchenidentifizierung dienen:

- **Čerenkov-Zähler:** Der Ring Imaging Čerenkov Detector (RICH) trennt in einem großen Impulsbereich Kaonen und Pionen.
- **elektromagnetisches Kalorimeter:** Das elektromagnetische Kalorimeter (ECAL) erlaubt es, Elektronen zu identifizieren und liefert schnelle Pretriggerinformationen.
- **Myonsystem:** Der Myondetektor dient zur Identifizierung von Myonenpaaren und liefert ebenfalls Pretriggersignale in Form von Myon-Spurkandidaten.
- **TRD:** Der Übergangsstrahlungsdetektor (Transition Radiation Detector, TRD) dient zur Identifizierung von Elektronen nahe des Strahlrohrs und zur Unterdrückung des hadronischen Untergrunds.

[2] High-$p_T$ steht für hohen Transversalimpuls.

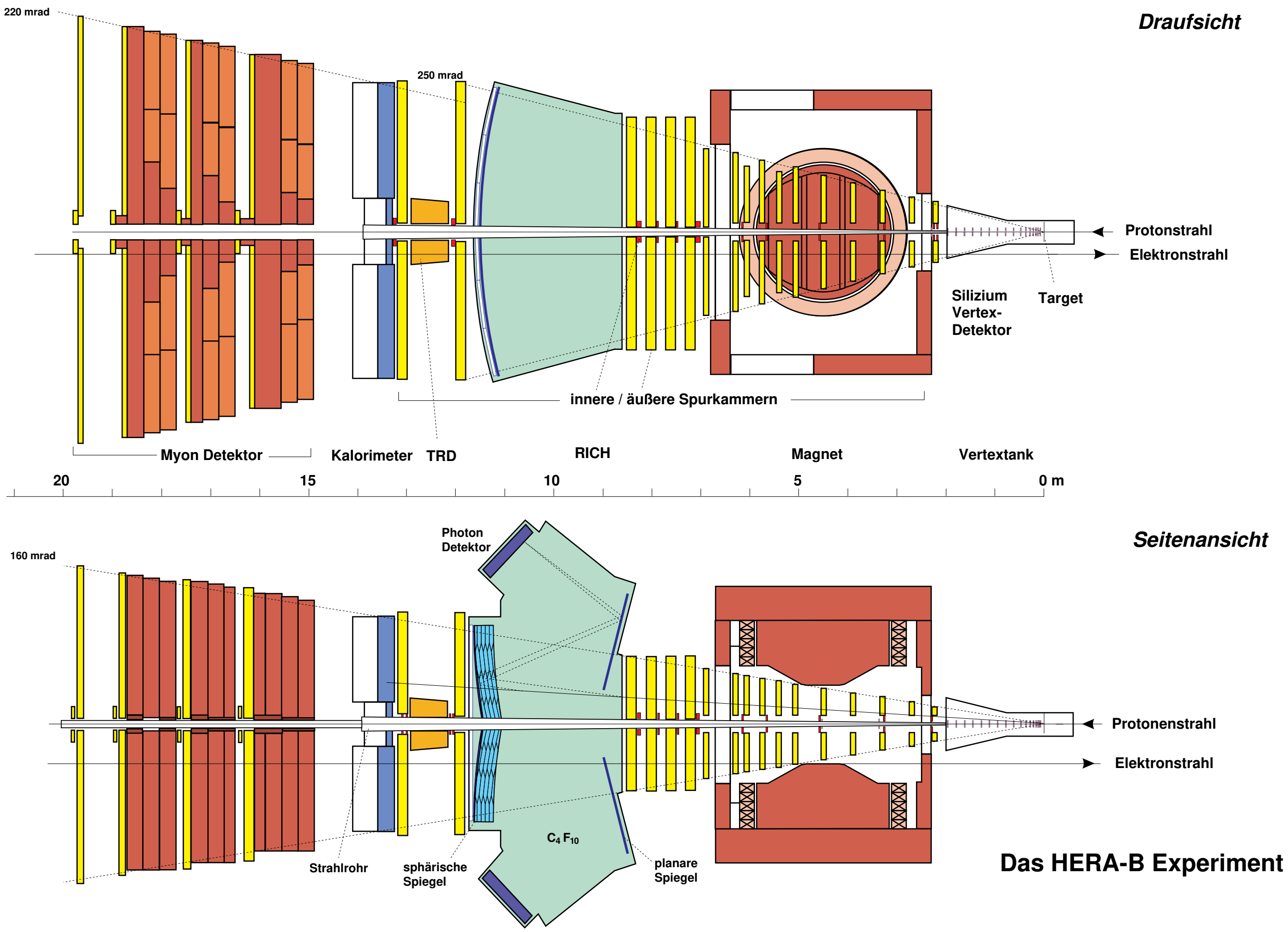



Abbildung 1.5: *Überblick über den Detektor*

### 1.4.2 Das Triggersystem und die Auslese

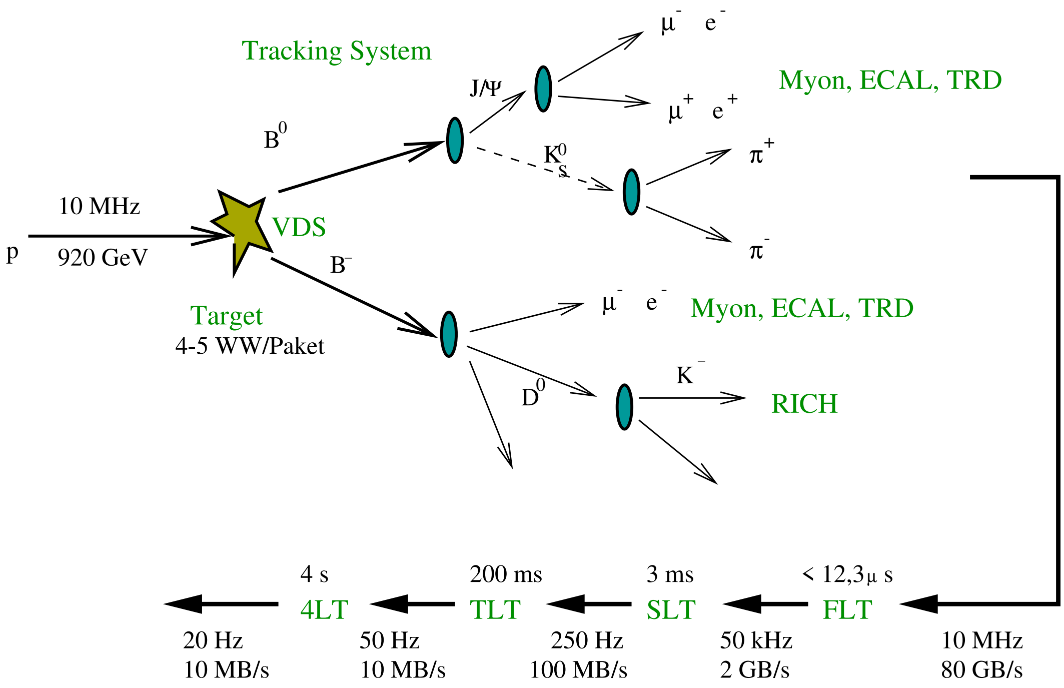



Abbildung 1.6: *Diese Abbildung zeigt im Überblick die Aufgaben der einzelnen Komponenten und Triggerstufen.*

Entscheidend für den Erfolg des Experimentes HERA-$B$ ist ein effizientes Triggersystem. Um die hohe Untergrundrate zu unterdrücken, ist ein vierstufiges Triggersystem vorgesehen. Die Verarbeitungszeiten und Datenraten in den einzelnen Stufen sind in Abbildung 1.6 dargestellt.

Die erste Stufe (First Level Trigger, FLT) hat die Aufgabe, aus einer Wechselwirkungsrate von bis zu 40 MHz innerhalb von 12 $\mu$s eine Vorauswahl der Ereignisse zu treffen, die alle wichtigen B-Zerfälle enthalten. Das geschieht mit Hilfe der Pretriggerinformationen des Muon- und ECAL-Systems, die sogenannte Regions-of-Interest (RoI) definieren. Das sind Regionen, in denen hinter dem Magneten nach Spurkandidaten gesucht wird. In der ersten Triggerstufe selbst werden ausgehend von den RoIs Teilchenspuren durch vier Spurkammerlagen zwischen Magnet und Kalorimeter verfolgt. Aus den rekonstruierten Spuren werden Parameter wie Impulse und Spurwinkel bestimmt und die invariante Masse des Leptonpaares berechnet. Diese Masse muß der $J/\Psi$-Masse entsprechen, damit das Ereignis von der ersten Triggerstufe akzeptiert und weitergeleitet wird. Diese Algorithmen sind in Hardware realisiert. Während dieser Entscheidung sind die Detektordaten noch in den Zwischenspeichern der einzelnen Komponenten gespeichert. Hat diese Triggerstufe das Ereignis akzeptiert, werden die Daten in die Zwischenspeicher der zweiten Stufe (Second Level Buffer, SLB) geschrieben. Schon in der ersten Triggerstufe soll die Ereignisrate auf 50 kHz gesenkt und der Untergrund um etwa einen Faktor 200 unterdrückt werden.

Die zweite Triggerstufe (Second Level Trigger, SLT) hat 3 ms Zeit, um die durch RoIs definierten Spuren zu verfeinern, durch den Magneten und den Vertexdetektor weiterzuverfolgen und insbesondere einen Sekundärvertex zu finden, der auf einen B-Zerfall hinweist. Dadurch wird bereits hier ein Teil des Untergrunds von direkt erzeugten $J/\Psi$-Mesonen unterdrückt. Dabei soll ein Unterdrückungsfaktor von etwa 200 und eine Senkung der Datenrate auf 250 Hz erreicht werden. Diese zweite Triggerstufe besteht aus einer PC-Farm mit 240 Rechnern.

In der dritten Stufe des Triggerprozesses (Third Level Trigger, TLT) sind zum ersten Mal alle Informationen des Detektors einschließlich der Daten des RICH zugänglich. Sie werden hier zusammengestellt, und mit ihnen kann eine globale Spurfindung stattfinden.

In der vierten Stufe des Triggersystems (Fourth Level Trigger, 4LT) befinden sich die Ereignisdaten in der sogenannten Level-4-Farm, die aus über 100 PCs besteht. Hier werden die gefundenen Spuren korrekt gefittet, die Teilchen identifiziert und schließlich das Ereignis rekonstruiert, so daß vom Trigger akzeptierte Daten mit nur noch 20 Hz zur späteren Analyse gespeichert werden können. Trotz der großen Untergrundunterdrückung durch das Triggersystem befinden sich unter diesen Daten weniger als 1 Hz Daten mit interessanter B-Physik [11].

Um flexibel zu sein und um nicht nur auf ganz bestimmte Zerfälle wie beispielsweise den „Goldenen Zerfall“ triggern zu können, sind ab der zweiten Triggerstufe die Triggeralgorithmen in Software geschrieben und können somit recht leicht für neue Untersuchungen angepaßt werden.

# Kapitel 2

# Das Innere Spurkammer-System

**Anforderungen an die Kammern.** Das System der Inneren Spurkammern wurde von den Universitäten Heidelberg, Siegen und Zürich gemeinsam entwickelt und gebaut. An das System werden hohe Anforderungen gestellt: insgesamt werden mehr als 10 m$^2$ Fläche mit den Inneren Spurkammern überdeckt sein, die Auflösung soll in der Ablenkrichtung des Magneten besser als $\Delta x \leq 100$ $\mu$m sein, in der Vertikalen etwa $\Delta y \leq 1$ mm und in Richtung des Strahlrohrs $\Delta z \leq 3$ mm. Dabei muß der Detektor auch bei einem Teilchenfluß von $10^4$ mm$^{-2}$s$^{-1}$ funktionieren; das ergibt eine Strahlendosis von bis zu einem Mrad pro Jahr. Er muß strahlenhart genug sein, um eine geplante Betriebszeit von fünf Jahren zu überstehen. Um bei der hohen Wechselwirkungsrate Spuren effizient und mit erträglicher Rechenzeit finden zu können, darf die Häufigkeit eines Treffers in einem Kanal höchstens 5% betragen. Diesen Wert nennt man Occupancy. Um das zu erreichen muß die Granularität des Detektors entsprechend hoch sein. Aus diesem Grund ist das Spurkammersystem auch aufgeteilt: nahe am Strahlrohr im Bereich höchster Teilchendichte befinden sich die Inneren Spurkammern, den Bereich weiter außen decken die Äußeren Spurkammern ab mit verschieden großen Zellen. Eine weitere Forderung an den Detektor ist, daß die Strahlungslänge des Materials möglichst groß sein soll, um Vielfachstreuung und Photokonversion und damit den Elektron-Positron-Untergrund gering zu halten.

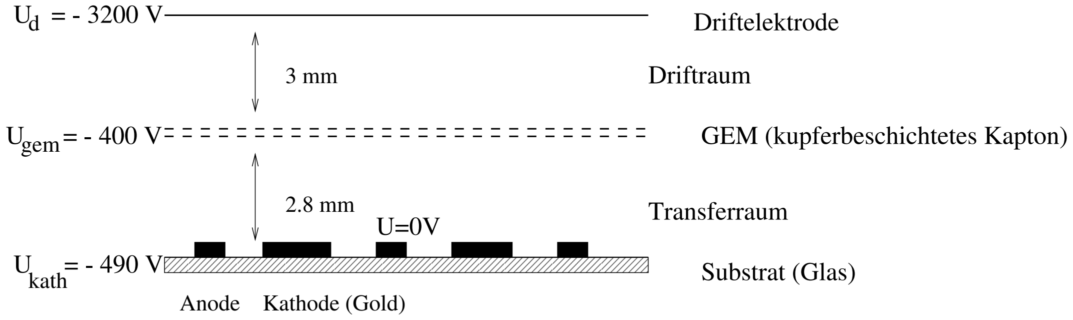



Abbildung 2.1: *Aufbau einer GEM-MSGC. Auf einem Glassubstrat sind Goldstreifen als Anoden und Kathoden aufgebracht. Zwischen Substrat und Streifen befindet sich eine Schicht aus amorphem Kohlenstoff. Die GEM-Folie in der Mitte besteht aus kupferbeschichtetem Kapton, das in einem photolithographischen Prozeß mit versetzt angeordneten Löchern versehen wurde.*

## 2.1 Mikrostreifengaszähler mit Vorverstärkerfolie

Die oben aufgeführten Anforderungen erfüllen Gas-Mikrostreifenkammern mit einer Vorverstärkerfolie (vgl. Abb. 2.1), die GEM-MSGCs (Gas Electron Multiplier: GEM, Micro Strip Gas Chamber: MSGC). Gas-Mikrostreifenkammern sind Weiterentwicklungen der Vieldrahtproportionalkammern. Auf ein 0,4 mm dickes Glassubstrat (= Wafer) sind 500 nm dicke Goldstreifen aufgebracht, die als Anoden und Kathoden dienen. Die Anoden sind 10 $\mu$m breit, die Kathoden 170 $\mu$m (220 $\mu m$ für Typ III-Kammern[1]). Der Abstand von Anode zu Anode (Pitch) beträgt 300 $\mu$m (350 $\mu$m für Typ III-Kammern), die Lücke (Gap) zwischen den Streifen beträgt 60 $\mu$m. Auf dem etwa 25cm $\cdot$ 25cm großen Wafer befinden sich 758 Anoden und Kathoden. Der Wafer ist mit amorphem Kohlenstoff beschichtet (Diamond-Like-Coating) und hat einen elektrischen Oberflächenwiderstand von etwa $10^{14}\frac{\Omega}{\Box}$, um eine elektronische Leitfähigkeit zu gewährleisten und damit Aufladungen zu vermeiden.

Darüber liegt der freie Transferraum, den die Gasverstärkungs- oder GEM-Folie abgrenzt. Die Gasverstärkungsfolie ist eine beidseitig mit Kupfer beschichtete 50 $\mu$m dicke Kaptonfolie mit in regelmäßigen Abständen angeordneten Löchern. Die Löcher haben einen Durchmesser von 55 $\mu$m im Abstand von 140 $\mu$m. Abgeschlossen wird die Kammer durch eine Driftelektrode, die aus einer 0,3 mm dicken mit kupferbeschichteter Kaptonfolie beklebten GFK-Platte besteht [12]. An beiden Seiten der GEM-Folie wird eine Spannung angelegt. Sie dient als Vorverstärker für die Elektronen, die im oberen Driftraum durch ionisierende Teilchendurchgänge ausgelöst wurden. Die Hauptverstärkung findet am MSGC-Wafer statt.

Die GEM-Folie wurde nötig, nachdem bei Tests im Hadronenstrahl festgestellt wurde, daß bei einer reinen MSGC bei der notwendigen Gasverstärkung von etwa 5000 Überschläge zwischen Anode und Kathode stattfinden, die Schäden am Wafer zur Folge haben. Ein Verstärkungsfaktor des GEM von 20 bis 30 reicht aus, um eine Erniedrigung der Kathodenspannung soweit zu ermöglichen, daß keine Überschläge mehr stattfinden. Die Verstärkung an den Anoden kann auf etwa einen Faktor 200 reduziert werden, wobei die Gesamtverstärkung erhalten bleibt.

Die zur Zeit gewählten Betriebsspannungen bei HERA-$B$ betragen an der Driftelektrode $U_{\text{drift}} = -3200$ V, für die Kathoden $U_{\text{kath}} = -490$ V, und die GEM-Differenzspannung ist $U_{\text{gem}} \approx 400$ V. Als Zählgas wird Ar : $CO_2$ im Verhältnis 70:30 verwendet.

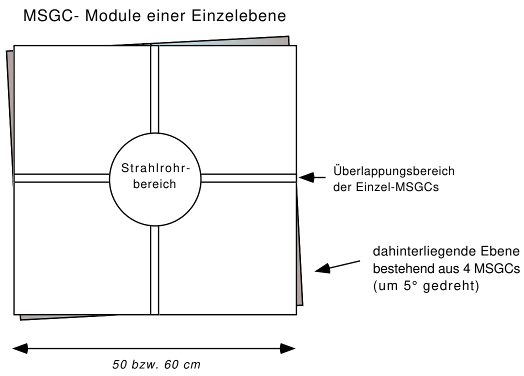



Abbildung 2.2: *Zur Verdeutlichung der schematische Aufbau der MSGC-Module einer Einzelebene [13].*

Das Innere Spurkammersystem wird aus 10 Stationen mit je zwei bis acht Ebenen bestehen.

[1]Typ III-Kammern werden hinter der RICH-Detektor eingesetzt und haben eine etwas größere Fläche. Damit diese Kammern trotzdem die gleiche Anzahl an Auslesekanälen haben, sind die Kathoden verbreitert worden.

Jede dieser Ebenen setzt sich aus vier MSGCs zusammen, das sind insgesamt 184 MSGCs mit 140 000 auszulesenden Kanälen. Zur Zeit sind 116 Kammern eingebaut und betriebsbereit[2]. Zur Messung der zweiten Koordinate (y) werden um $\pm 5°$ gedrehte Lagen, sogenannte Stereolagen, verwendet. Wie in Abbildung 2.2 schematisch und in Abbildung 2.3 etwas genauer zu erkennen ist, decken je vier Detektoren eine Lage rund um das Strahlrohr ab. Ebenfalls in den Abbildungen zu sehen ist der Strahlrohrausschnitt, der es ermöglicht, die Kammern näher am Strahlrohr zu plazieren.

Die Inneren Spurkammern werden hauptsächlich zur Rekonstruktion der Zerfallsspuren genutzt, einige Stationen sollen aber auch dazu dienen, für die erste Triggerstufe schnelle Triggersignale zu liefern. Dazu werden die Ausgangssignale der analogen Front-End-Verstärker in einem Komparator mit einer Schwellenspannung verglichen. Je vier Auslesekanäle werden verodert und bilden ein Triggersignal [14], um einerseits die Anzahl von Triggerkanälen zu verringern, andererseits aber gleichzeitig die Triggeroccupancy auf unter 10 % zu begrenzen.

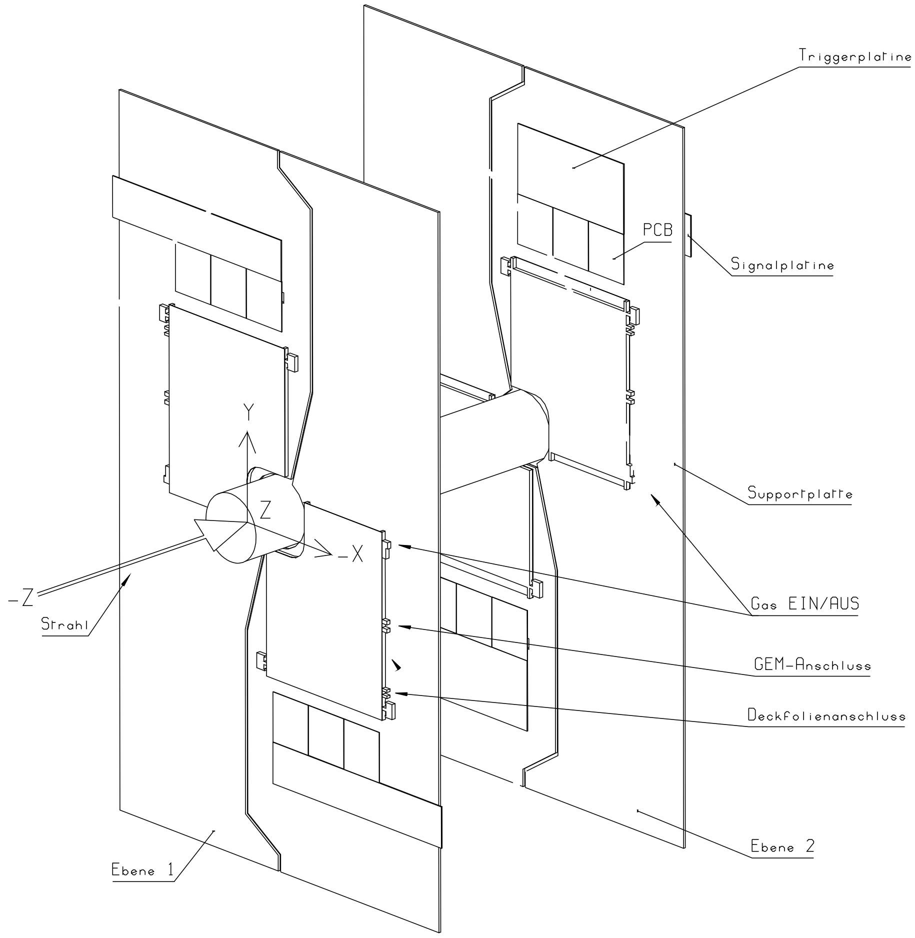



Abbildung 2.3: *Schematischer Aufbau eines Paketes. Man sieht auf einer Supportplatte zwei MSGCs. Außerdem ist skizziert die Ausleseelektronik bestehend aus drei PCBs pro Detektor, einem Signalverteilerboard bzw. einem Triggertreiberboard pro Kammer zu erkennen. Auf den PCBs befinden sich je zwei Auslesechips (hier nicht sichtbar) [15].*

[2]Stand Januar 2000

## 2.2 Funktionsweise der GEM-MSGC

**Primärionisation.** Ein geladenes Teilchen ionisiert beim Durchgang durch den Detektor das Gas. Die bei der Primärionisation im Driftraum enstandenen Elektronen bewegen sich durch das angelegte elektrische Feld zur GEM-Folie. In den Löchern der Folie bewirkt die GEM-Spannung von etwa 400 V eine Lawinenverstärkung um einen Faktor 20 bis 30. Die dabei entstandene Elektronenwolke driftet nun entlang der Feldlinien durch den Transferraum zu den Anoden. In deren Nähe findet die zweite Gasverstärkung um etwa einen Faktor 200 statt. Diese Verstärkung wird in der Hauptsache durch die Spannung an den Kathoden der Mikrostreifenkammer geregelt. Die gesamte Gasverstärkung ist das Produkt aus der Verstärkung an der GEM-Folie und an den Anoden.

Hohe Pulse können also nur durch Primärionisation im Driftraum entstehen. Allerdings gibt es auch Signale von Elektronen, die von einem Teilchendurchgang mit Primärionisation im Transferraum herrühren. Diese Signale werden weniger verstärkt und treffen aufgrund der kürzeren Driftzeit früher auf die Anoden.

Unterscheiden muß man bei der Ionisation des Gases durch ein geladenes Teilchen zwischen der Primärionisation und der Gesamtionisation. Bei ersterem handelt es sich um primär beim Teilchendurchgang erzeugte Elektron-Ion-Paare, die durch Ionisation und Anregung aufgrund des mittleren Energieverlustes $\frac{dE}{dx}$ entstanden sind. Die Gesamtionisation setzt sich zusammen aus der Primärionisation $n_0$ und den Sekundärelektronen, die von Elektronen mit großen Energien in Sekundärprozessen erzeugt wurden. Die Gesamtzahl der freigesetzten Ionen $n_T$ ist proportional zum Energieverlust im Material

$$n_T = \frac{\Delta E}{W_i},$$

wobei $\Delta E$ der totale Energieverlust im Gasvolumen ist, und $W_i$ bedeutet den durchschnittlichen Energieverlust pro produziertem Ionenpaar [16, 17].

In Tabelle 2.1 sind einige Daten für die Gase Argon und Kohlendioxid zusammengestellt [17].

| Gas | $W_i$ | $n_0$ | $n_T$ |
|---|---|---|---|
| | eV | Ionenpaare/cm | |
| $Ar$ | 26 | 29,4 | 94 |
| $CO_2$ | 33 | 34 | 91 |

Tabelle 2.1: *Energieverlust und Zahl der Ionen für die Gase* Ar *und* $\mathrm{CO_2}$ *für minimal ionisierende Teilchen unter Normalbedingungen.*

**Gasverstärkung.** Neben dieser Ionisation allein durch die Energie der minimal ionisierenden Teilchen, sind an der GEM-Folie und an den Anoden hohe Spannungen angelegt, um die driftenden Elektronen zu beschleunigen, so daß diese durch Stoßionisation weitere Gasatome ionisieren können. Dies nennt man Gasverstärkung. Die Gasverstärkung $A$ ist dann definiert als das Verhältnis von der Zahl der durch die Lawinenbildung entstandenen und auf die Anode treffenden Elektronen $n_s$ und der Zahl der bei der Primärionisation durch das ionisierende Teilchen erzeugten Elektronen $n_0$:

$$A = \frac{n_s}{n_0}.$$

Die Gasverstärkung an den Anoden hängt dabei exponentiell von der Kathodenspannung ab.

**Minimal ionisierende Teilchen.** Für minimal ionisierende Teilchen liegt die Anzahl primär erzeugter Elektron-Ion-Paare, die dann im Feld der GEM-Spannung und der Anoden vervielfacht werden, in Ar : $CO_2$ im von uns verwendeten Mischungsverhältnis von 70:30 in den Kammern bei etwa 9 [17]. Ein minimal ionisierendes Teilchen (MIP, Minimal Ionizing Particle) nennt man ein Teilchen, dessen Energie nach der Bethe-Bloch-Formel gerade so groß ist, daß sein Energieverlust pro Wegstrecke in Materie minimal ist. Bei HERA-$B$ sind fast alle wechselwirkenden Teilchen MIPs, da diese Kurve im Minimum sehr flach verläuft.

**Landauverteilung.** Der Energieverlust minimal ionisierender Teilchen (speziell: Elektronen) in dünnen Absorbern und Gasen wird durch die Landauverteilung beschrieben, im Unterschied zu dicken Absorbern, in denen die Verteilung des Energieverlusts die Form einer Gaußkurve hat. Die Landauverteilung ist unsymmetrisch: es gibt einen beträchtlichen Anteil Teilchen, die in einer Kollision einen großen Teil ihrer Energie übertragen.

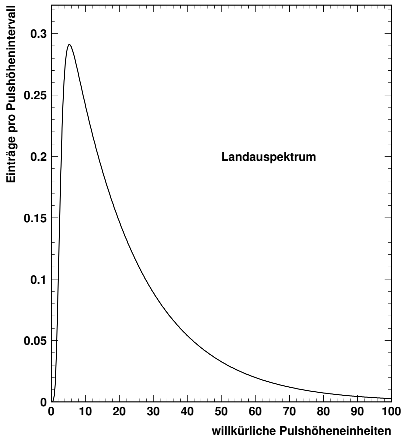



Abbildung 2.4: *Näherung einer Landauverteilung (beliebige Einheiten).*

**Streifenmultiplizität.** Die Anzahl Anodenstreifen, die die Elektronen eines minimal ionisierenden Teilchens aufsammeln, bezeichnet man als Streifenmultiplizität. Die Multiplizität hängt ab von der Teilchenspur (deren Winkel), von der Breite und dem Abstand der Anoden, vom Gas und der Driftspannung. Dabei bestimmen das Gasgemisch und die Driftspannung die Driftgeschwindigkeit und Diffusion. Im Magneten, in dem das Magnetfeld senkrecht zum elektrischen Driftfeld der Kammer verläuft, wirkt auf die driftenden Elektronen die Lorentzkraft, die die Elektronen ablenkt. Daher driften die Elektronen nicht senkrecht auf das Substrat zu, so daß sich der Bereich vergrößert, in dem Anodenstreifen nach einem Teilchendurchgang ein Signal registrieren. Im Magnetfeld erwartet man also eine höhere Streifenmultiplizität (vgl. Abb. 2.5).

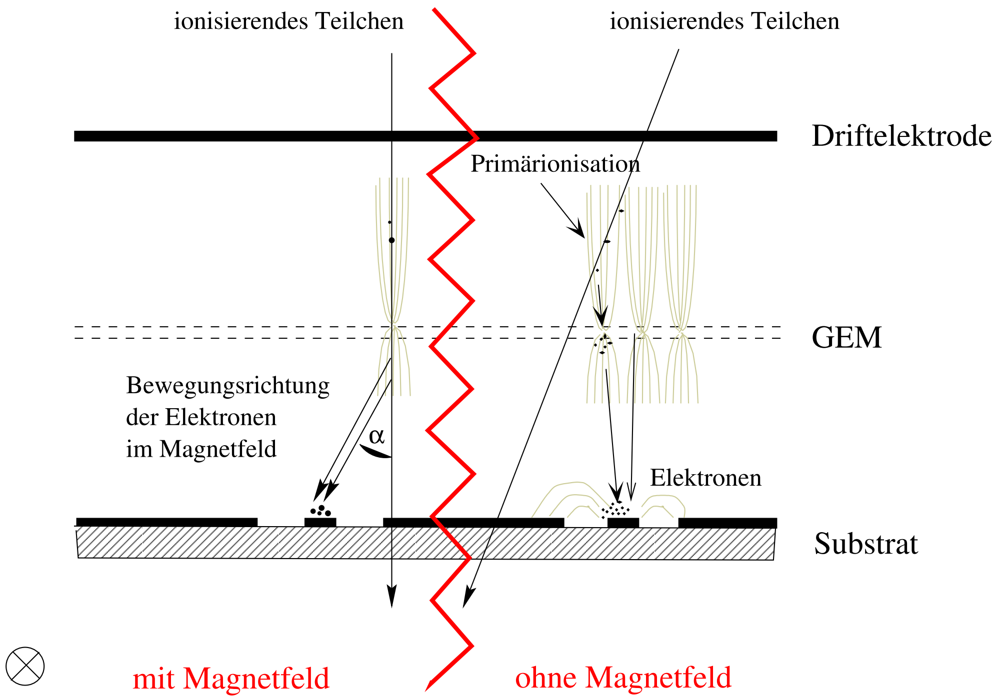



Abbildung 2.5: *Prinzip der Gasverstärkung und Ablenkung der Elektronen im Magnetfeld.*

## 2.3 Ausleseelektronik

**Anforderungen.** Auch an die elektronische Auslese der 184 Spurkammern werden hohe Anforderungen gestellt.

- hohe Wechselwirkungsrate: Bei einer Rate der Strahl-Target-Wechselwirkungen von etwa 10 MHz mit je vier bis fünf Wechselwirkungen muß die Elektronik immer noch in der Lage sein, einzelne Ereignisse zu unterscheiden. Wenn die Elektronen der Ladungswolke zur Anode wandern, müssen sie dort erst integriert und das Signal dann verstärkt werden. Um ausreichend Elektronen zu sammeln muß die Integrationszeit groß genug sein. Andererseits müssen aufeinanderfolgende Ereignisse noch getrennt werden können. Das bedeutet, daß das integrierte Signal nach spätestens 100 ns wieder auf Null gefallen sein muß.

- Speichern der Signale für einen Zeitraum von 12 $\mu$s bis zur Triggerentscheidung: Da bei HERA-$B$ eine totzeitlose Auslese geplant wurde, muß das Auslesesystem in der Lage sein, die Daten bis zur First-Level-Trigger-Entscheidung zwischenzuspeichern und dann das richtige Ereignis auszulesen.

- Multievent-Buffer: Bis zu acht Ereignisse können nach einer positiven Triggerentscheidung gespeichert werden. Damit soll erreicht werden, daß die anfallenden Daten in der Auslese gleichmäßig verteilt werden können, auch wenn kurz nacheinander mehrere interessante Ereignisse auftreten.

- Strahlungshärte: Die erwartete Strahlenbelastung beträgt für die Elektronik 100 krad pro Jahr.

- Analoge Auslese der gespeicherten Pulshöhen, wenn das entsprechende Ereignis vom Trigger akzeptiert wurde

**Helixchip.** Für die Auslese der MSGCs der Inneren Spurkammern und der Silizium-Streifendetektoren des Vertexdetektors hat das ASIC-Labor Heidelberg den „Helix"-Chip entwickelt [18]. Diese Chips nehmen die im Detektor deponierten Ladungen auf und speichern sie in einer aus Kondensatoren bestehenden Pipeline. Die Pipeline bildet den Zwischenspeicher der ersten Triggerstufe, den First Level Buffer (FLB). Ein Chip hat 128 Eingangskanäle, man benötigt pro Kammer also sechs Helixchips. Für jeden Kanal werden die Signale in einem ladungsintegrierenden Vorverstärker verstärkt und dann geformt, so daß ein Puls entsteht mit einer Halbwertsbreite (FWHM) von etwa 75 ns, dessen maximale Pulshöhe proportional zur Ladung ist. Zu einem festen Zeitpunkt wird das Ausgangssignal des Pulsformers abgetastet und dieser Wert wird in der 141 (Version 2.2 und 3.1) bzw. 136 (Version 3.0 [3]) Zellen langen Pipeline analog zwischengespeichert. Über einen Multiplexer werden die 128 Kanäle seriell ausgelesen. Das Schema eines Kanals findet sich in Abb. 2.6. Die Verstärkung und Pulsform des Chips können durch Verstärkerströme und -spannungen wie $I_{pre}$ und $V_{fs}$ extern eingestellt werden.

Die Pipeline wird folgendermaßen addressiert: Die von der ersten Triggerstufe akzeptierten Ereignisse werden aus der Pipeline wieder herausgelesen, um an die nächste Stufe der Auslese weitergegeben zu werden. Dazu muß eine in den Chip integrierte Kontrollogik die Zellen adressieren. Mit Hilfe des HERA-Taktsignals werden Schreib- und Leseadressen erzeugt. Der Zähler für die Schreibadresse wird mit jedem Taktzyklus inkrementiert. In einem konstanten Abstand folgt der Zähler für die Leseadresse. Außerdem werden die Leseadressen vorgemerkt, die vom

[3] Die um fünf Zellen bzw. Takte zu kurze Pipeline dieser Helixversion ist ein Produktionsfehler. Im Shutdown 2000/2001 sollen alle Helix 3.0-Chips ausgetauscht werden.

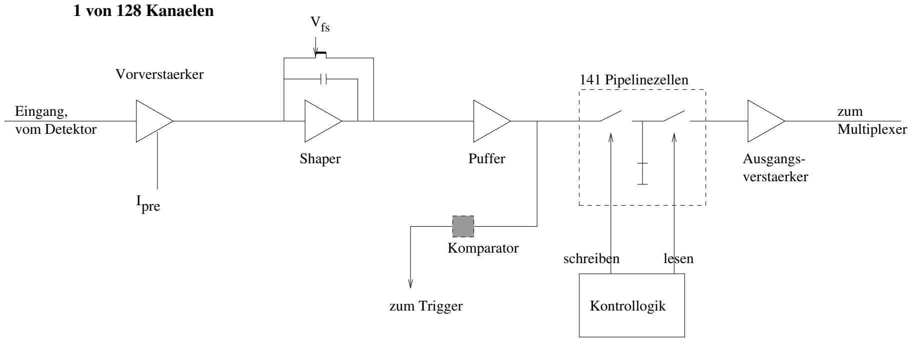



Abbildung 2.6: *Schemazeichnung eines Kanals des Helix-Auslesechips [18]. Der Vorverstärkerstrom $I_{pre}$ und die Feedbackspannung $V_{fs}$ des Shapers regulieren die Form und Länge der Helixantwort.*

Trigger das Signal zum Auslesen bekommen haben. Um auch bei schnell aufeinanderfolgenden Triggersignalen immer 128 Ereignisse zwischenspeichern zu können, hat die Pipeline mehr ($141 = 128 + 8 + 5$) Spalten, acht getriggerte Ereignisse können zwischengespeichert werden.

**Auslesesystem.** Der gesamte Aufbau des Auslesesystems ist in Abbildung 2.7 schematisch dargestellt. Nach einem Triggersignal löst eine Front-End-Driver-Kontrolleinheit (FED) die Auslese der Meßsignale aus den Pipelinezellen der Helixchips aus. Zusätzlich sendet der Helixchip die Information, aus welcher Pipelinezelle die Daten kommen. Die zwei Helixchips, die sich auf einem Printed Circuit Board (PCB) befinden, werden gemeinsam nacheinander („daisy chain"-Methode) ausgelesen. Diese Daten werden über Lichtwellenleiter in den Elektronikcontainer in einiger Entfernung vom Experiment übertragen. Dort werden die Daten schließlich in den FEDs digitalisiert und an die Speicher der zweiten Triggerstufe (Second Level Buffer, SLB) weitergesendet.

Letztlich wird die registrierte Ladung in ADC-Einheiten (Einheiten des Analog-to-Digital-Converters (ADC)) gemessen. Um diese Einheiten in die gemessene Ladung, also Elektronen, umrechnen zu können, muß die Auslesekette geeicht werden. Dazu müssen die Verstärkungen und Schwankungen folgender Komponenten bekannt sein:

- Vorverstärker
- elektrisch-optische Umwandlung und v.v.
- optische Übertragung

Dabei ergibt sich, daß eine ADC-Einheit etwa 4 mV oder 2500 Elektronen entspricht [20].

**Rauschen.** Beim Durchgang durch den Detektor erzeugt ein minimal ionisierendes Teilchen etwa 100000 Elektronen mit großen Fluktuationen dieser Zahl nach oben und unten. Diese Zahl ergibt sich aus einer notwendigen Gasverstärkung von etwa 5000 und einer Primärionisation von knapp 20 im Gasraum der Kammer. Da das zu messende Signal nicht vergrößert werden kann, muß das intrinsische Rauschen des Verstärkers möglichst gering sein. In [21] wurde das thermische Rauschen auf etwa 2400 ENC (r.m.s) geschätzt, dabei ist ENC (Equivalent Noise Charge) die äquivalente Elektronenzahl.

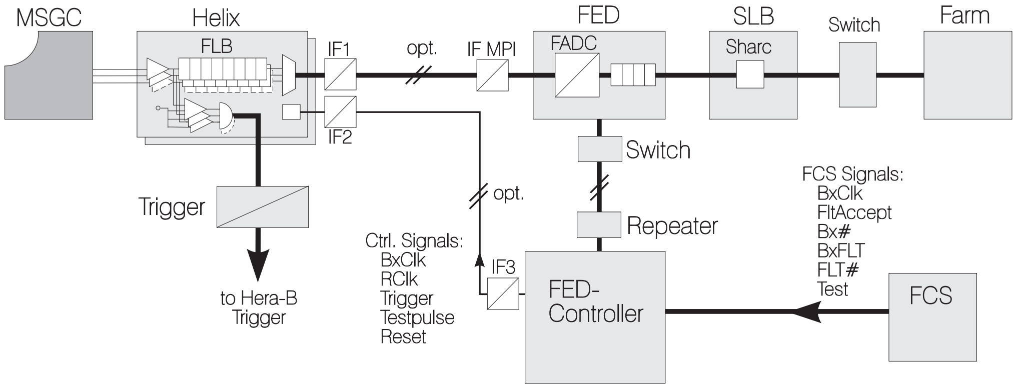



Abbildung 2.7: *Schemazeichnung des Auslesesystems der Inneren Spurkammern (aus [19]).*

Das Rauschen des Helix Vorverstärkers läßt sich wie folgt beschreiben:

$$ENC^2 = c_1 \cdot \frac{C_{in}^2}{T_p} + c_2 \cdot I_L \cdot T_p + c_3 \cdot C_{in}^2.$$

$C_{in}$ ist die Kapazität zum übrigen Netzwerk vor dem Eingang des Verstärkers. $T_p$ ist die Signalanstiegszeit, $I_L$ der Leckstrom. Die Vorfaktoren $c_1$, $c_2$ und $c_3$ hängen vom Vorverstärker ab. Der erste Term beschreibt das weiße (thermische) Rauschen, der zweite das Schrotrauschen, der dritte das 1/f-Rauschen. Die Kapazität $C_{in}$ setzt sich zusammen aus der Streifenkapazität ($\approx 25 - 30pF$) und der Kapazität zwischen den Streifen des Kaptonkabels (ca. 1pF/cm), das den Chip mit dem Detektor verbindet.

### 2.3.1 Auftretende Schwierigkeiten

In diesem Abschnitt werden kurz auftretende Schwierigkeiten und Besonderheiten, die das Monitoring betreffen und dort berücksichtigt werden müssen, beschrieben.

1. Offset: Für jede Station des Inneren Spurkammersystems muß separat ein Offset eingestellt werden können. Offset bezeichnet in diesem Zusammenhang die Länge vom Anfang des Datenblocks im Zwischenspeicher der zweiten Stufe bis zur ersten echten darin enthaltenen Information über die Pulshöhen in der Kammer. Dieser Offset sollte im Normalbetrieb fest eingestellt sein und sich nicht ändern.

2. „Jitter“: Das bedeutet, daß die Pulshöheninformation des ersten Kanals von einem PCB nicht immer an der gleichen Stelle im Datenblock auftritt, sondern von Ereignis zu Ereignis springt. Dieser Fehler ist zurückzuführen auf eine schlecht eingestellte Phasenlage der beiden Taktsignale. In dieser Situation gibt es also zusätzlich zu dem Offset in 1. noch einen springenden Offset.

3. Die Kapazitäten der einzelnen Pipelinezellen und die Verstärkungen der verschiedenen Auslesekanäle sind aufgrund von baubedingten Schwankungen nicht gleich.

4. Es gibt Unterschiede in der optischen Übertragung und Umwandlung, so daß die Daten von Helixen auf verschiedenen Printed Circuit Boards mit unterschiedlicher Verstärkung weitergeleitet werden.

### 2.3.2 Überwachung der Ströme

Die Slow Control überwacht die sich langsam ändernden Parameter der Kammern, zur Zeit hauptsächlich die Ströme:

- **Driftstrom:** Der Driftstrom ist der Strom, der zwischen Driftelektrode und Masse fließt. Ohne Strahl fließt kein Strom, sobald aber das Target eine Teilchenrate erzeugt, steigt der Driftstrom bis auf einige Tausend Nanoampere an. Der Driftstrom ist korreliert mit der Targetrate, damit also mit der Teilchenrate. Die relative Höhe des Driftstroms zweier Kammern bei sonst gleichen Bedingungen ist ein gutes Maß für die relative Verstärkung der Kammern.

- **Kathodenstrom:** Der Kathodenstrom ist der Strom, der zwischen Anode und Kathode fließt. Er ist hauptsächlich von der Kathodenspannung abhängig und kommt zustande aufgrund der Leitfähigkeit der Diamantschicht.

# Kapitel 3

# Das Monitoring

Aufgabe des Monitorings ist die Kontrolle der wichtigsten Betriebsparameter des Detektors, um sicherzustellen, daß Fehler in den Daten einer Detektorkomponente und von Detektorproblemen parallel zur Datennahme erkannt werden. Dadurch soll gewährleistet sein, daß nur gute Daten weitergegeben und endgültig gespeichert werden. Gute Daten heißt in diesem Zusammenhang hauptsächlich, daß keine groben Fehlfunktionen beim Betrieb des Detektors auftreten und die Daten nicht sehr von der Erwartung abweichen.

In dieser Arbeit wird nur das „frühe“ Monitoring auf den Rechnern der zweiten Triggerstufe behandelt, auf denen die volle Information über das Innere Spurkammersystem zur Verfügung steht. Das ist für die Runperiode Anfang 2000 noch ausreichend. Sobald aber eine Rekonstruktion der Daten der Inneren Spurkammern auf der Rechnerfarm der vierten Triggerstufe stattfindet, muß es auch hier eine Überwachung der Daten geben.

Die Überwachung gibt es auf verschiedenen Ebenen. Zum ersten soll es eine automatische Kontrolle der wichtigsten Daten geben, so daß vom Programm ein Alarm ausgelöst werden kann, der der Schichtbesatzung mitteilt, daß und an welcher Stelle im Inneren Spurkammersystem ein Fehler aufgetreten ist. Zum zweiten gibt es ebenfalls vorrangig für die Schichtbesatzung einige wenige Histogramme, die Auskunft über den Zustand des Systems geben. Wie sich herausgestellt hat, sind dafür die Occupancy-Histogramme gut geeignet. Man kann im Überblick sehen, ob die Auslese der entsprechenden Kammer funktioniert, ob Hochspannung anliegt, wieviele Kanäle heiß oder tot sind.

Am detailliertesten müssen die Experten des Inneren Spurkammersystems über den Zustand ihres Systems Bescheid wissen, die deshalb die Möglichkeit haben, sich sehr viele Werte für die einzelnen Kammern anzeigen zu lassen. Dazu zählen Histogramme über die Größe der Signale, über das Rauschen einzelner Helixchips und Informationen über die Synchronisation der Auslese mit der anderer Subdetektoren.

Zur späteren Kontrolle werden die online erzeugten Histogramme von jeder Datennahme gespeichert. Für die Schichtbesatzung werden wenige davon über das Netz übertragen. Diese können jederzeit während des Runs mit speziellen Programmen wie „HbDisplay2“ [22] empfangen und angezeigt werden. Diese Übertragung ist nur für eine Auswahl von wenigen Histogrammen sinnvoll.

## 3.1 Konzept

Mit der Überwachung soll auf verschiedenen Ebenen der Datennahme sichergestellt werden, daß der Detektor nicht „blind“ betrieben wird, sondern daß schon während der Datennahme die erste Überprüfung der genommenen Daten stattfinden kann. Im Idealfall werden nur gute Daten gespeichert und auf Band geschrieben. Bei Feststellen eines Fehlers kann dieser entweder von der Schichtbesatzung behoben werden (Spannung anschalten, Auslese neu starten u.ä.), oder es kann schon früh ein Experte gerufen werden.

Was kann das Monitoring auf dieser frühen Verarbeitungsstufe auf den Rechnern der Second Level-Farm überhaupt schon feststellen?
Als erstes wird die elektronische Auslese beobachtet:

- grobe Fehlfunktionen der Auslese: Programmierung und Auslese der Helixchips
- Stabilität der Baseline
- Stabilität des Timings, Entdecken eines möglichen Jitters
- Rauschen der Chips
- Entdecken heißer Kanäle und verrauschter Ereignisse
- Verstärkung der Auslesekette

Wenn die Auslesekette technisch funktioniert, wird das Verhalten der einzelnen Kammern überwacht. Um diese Informationen zu erhalten, müssen die Rohdaten schon bis hin zum Finden der Pulse bearbeitet werden:

- Streifenstatistik über tote und heiße Kanäle
- Pulshöhenspektren, Ladungsverteilungen
- Verteilung der Clusterbreiten

Mit Hilfe dieser Daten können weitergehende Informationen erhalten werden:

- Zahl der Hits pro Kammer und deren Verteilung auf die Streifen
- Variation der Gasverstärkung zwischen Kammern und im zeitlichen Verlauf
- Korrelation zwischen Kammern einer Doppellage
- Zahl der korrelierten Hits in einer Doppellage in Abhängigkeit von der Targetrate

Außerdem kann beispielsweise die Synchronisation der Auslese der Inneren Spurkammern mit der anderer Subsysteme verglichen werden.

## 3.2 Implementierung

Die Datenüberwachung des Inneren Spurkammersystems ist eingebettet in ein für alle Subdetektoren von HERA-$B$ einheitliches Konzept. Damit soll für jede einzelne Komponente eine Reduzierung des Entwicklungs- und Wartungsaufwands für ihre Software erreicht werden. Nach außen erhält man auf diese Weise eine einheitliche Schnittstelle, die die Integration mehrerer Systeme erleichtert. Außerdem ist eine einheitliche Bedienung gewährleistet. Dafür wurden hauptsächlich von der Data Acquisition (DAQ)-Gruppe Programme für einen bequemen Datenzugriff und zum einfachen Publizieren von Histogrammen entwickelt und bereitgestellt. Diese Programme sind nötig, weil jede der 200 CPUs der Farm einen Teil der Ereignisse bearbeitet; alle diese Informationen sollen gesammelt werden und in einem Histogramm zur Verfügung stehen. Außerdem wird dadurch Unabhängigkeit vom Arbeitsplatz insofern gewährleistet, daß ein Programm auf einem Rechner die Histogramme erzeugt, diese aber problemlos von einem anderen Rechner aus empfangen werden können. Ebenso gibt es eine gemeinsame Datenbank für alle Systeme.

Die Arbeit wurde zusätzlich dadurch erleichtert, daß die Gruppe des ITRs Programmpakete für die Datenüberwachung von der Gruppe des Vertexdetektors übernehmen konnte und dann an ihre Bedürfnisse angepaßt hat. Dies war möglich, weil der Vertexdetektor die gleiche Ausleseelektronik verwendet. Es mußten Anpassungen an das andere Datenformat vorgenommen werden, Datenbanken mußten erstellt und ein anderer Algorithmus zum Finden der Cluster angewendet werden. Die Programme des ITRs, die im folgenden genauer beschrieben werden, erlauben den Zugang zu den Daten, das Prozessieren (Baselinesubtraktion, Pedestalberechnung und -subtraktion) zum Auffinden der Hits und das Publizieren der Daten, um die Qualität der Datennahme kontrollieren zu können. Ziel des ersten Teils der Arbeit war es, diese Überwachung „online", d.h. noch während der Datennahme zu ermöglichen.

Das Programm wurde in der Sprache „C" geschrieben und kann auf beliebigen Rechnern eingesetzt werden.

1. Das Monitoringprogramm kann offline für einen ersten Analyseteil verwendet werden. Dafür wird eine gespeicherte Datei Ereignis für Ereignis durchgegangen, das gesamte Programm (also Finden der Daten, Korrekturen und Clustersuche) wird ausgeführt, und die gewünschten Histogramme werden gefüllt. Das Programm ermöglicht alles, was man aus den Pulsen einer Kammer alleine analysieren kann, also ohne Spurfindung. Der gleiche Quelltext außer dem Füllen der Kontroll-Histogramme wird auch als erster Teil der Rekonstruktion verwendet.

2. Wenn die Überwachung „online" durchgeführt wird, läuft der Prozeß auf einem Rechner der Second Level Farm. Auf diesem Rechner wird mit einer konstanten Rate von etwa 50 Hz [23] ein Ereignis für die Kontrolle genutzt. Diese Ereignisse werden parallel zum normalen Auslesestrom in den dafür vorgesehenen Level-2-Knoten gebracht. Ein neues Ereignis wird erst dann ausgelesen, wenn das vorige komplett bearbeitet wurde. Anhand dieser Testdaten kann überprüft werden, wie sich die Kammern verhalten. Alle Ereignisse laufen ansonsten den normalen Weg weiter, bis sie auf Band gespeichert werden [24].

Noch nicht implementiert ist der Vergleich von beispielhaften korrekten Daten mit aktuell genommenen Daten, um automatisch Alarm zu schlagen und die Schichtbesatzung auf eine Fehlfunktion einer Kammer hinzuweisen. Diese Möglichkeit ist jedoch in einem noch in der Entwicklung begriffenen HERA-$B$-weiten System für Monitoring und Datenqualität vorgesehen.

## 3.3 Grundlagen, Softwareumgebung

Das Monitoring-Programm nutzt in der HERA-$B$-Umgebung eine Vielzahl von Programmbibliotheken und allgemeiner Hardware. Viele dieser Bibliotheksprogramme sind so aufgebaut, daß es Funktionsrümpfe gibt, in die jede Detektorkomponente nur einen Aufruf ihres eigenen Programmcodes einsetzt. Der Zugriff auf die Rohdaten ist beispielsweise auf diese Weise geregelt, um das eigentliche Datenformat und um eventuell nötige Änderungen derselben muß jeder einzelne sich nicht mehr kümmern.

Folgende Programmbibliotheken und Hardware werden genutzt:

- Die Zustandsmaschine *state machine control (smc)*

  Dieses Paket wird für die gesamte Runkontrolle genutzt. Das zugrundeliegende Konzept ist das einer Zustandsmaschine. Das bedeutet, daß sich das System nur in genau festgelegten

Zuständen befinden kann, zwischen denen nur bestimmte definierte Übergänge erlaubt sind [25].

- Das Nachrichtenprotokoll *real powerful messaging (rpm)*

  Dieses Paket übernimmt den gesamten Nachrichtenaustausch in der Second Level Farm. Es wurde entwickelt, um die Kommunikation zwischen einzelnen Prozessen auf verschiedenen Plattformen und auf SHARC[1]-Prozessoren zu ermöglichen. Es bildet die Schnittstelle zwischen höheren Anwendungen und den SHARCs, den Prozessoren der zweiten Triggerstufe. Um Prozesse zuordnen zu können, erhalten sie spezielle Identifikationsnummern, in denen beispielsweise das Subsystem verschlüsselt ist [27].

- Das Histogrammpaket *remote histogramming package (rhp)*

  „Rhp" erlaubt auf einfache Weise das Buchen und Füllen von n-Tupeln und Histogrammen [28]. Andere Prozesse, beispielsweise zum Anzeigen der Histogramme, können diese Inhalte abfragen. „Rhp" wird im letzten Schritt unseres Monitoringprogramms zum Übertragen einiger Histogramme für die Schichtbesatzung genutzt. Diese Übertragung ist notwendig, da der Monitoringprozess und die Überwachung selbst nicht auf demselben Rechner stattfinden.

- Das Monitoring-Gerüst *dmon*[2]

  Dieses Programm bildet das Gerüst für Überwachungs- und Diagnoseaufgaben. Unsere Datenüberwachung baut hauptsächlich auf diesem Paket auf, denn es ermöglicht leichten Zugang zu den Daten eines Ereignisses zur Überwachung und Analyse. Damit können sowohl Daten empfangen werden, die gerade genommen werden, als auch schon gespeicherte Dateien wieder bearbeitet werden. Die dmon-Funktionen ermöglichen dabei den Zugriff auf verschiedene Datenformate, ohne daß der Benutzer diese genau kennen muß. Beim Online- und Offlinezugriff werden die Rohdaten pro Ereignis geliefert. Übernommen wird auch das Senden von kritischen Fehlermeldungen an eine zentrale Stelle [29].

- Datenbank

  Zur Zeit wird die Datenbank hauptsächlich dafür genutzt, Informationen über den Aufbau des Inneren Spurkammersystems zu speichern und bereitzustellen. Dazu gehören Angaben über Verbindungen zwischen Kammern und Helixchips, welcher Chip an welcher Kammer in welcher Position sitzt und über die Zahl und Geometrie der vorhandenen Kammern. Im Programm muß es möglich sein, die Daten aller eingebauten Kammern der Reihe nach zu bearbeiten. Im weiteren Verlauf des Betriebs und der Analyse aber wird die Datenbank weitere Aufgaben übernehmen. Alignmentkonstanten[3] müssen gespeichert werden und zwar mit einer Zeitangabe, ab wann sie gelten und wann sie benutzt wurden. Informationen über tote Kanäle oder sogar Chips müssen gespeichert und jederzeit abgefragt und geändert werden können.

  Ursprünglich wurde in der HERA-*B* Kollaboration die „Table Based Data Base" eingesetzt. Diese Datenbank basiert auf Tabellen. Das hat den Nachteil, daß sich keine Bezüge zwischen den Daten definieren lassen. Mittlerweile wurden Erweiterungen dafür entwickelt, so daß ein relationales Datenmanagement möglich ist.

[1]SHARC-Prozessoren (Super Harvard ARchitecture Computer) sind für einen hohen Datendurchsatz entwickelte digitale Signalprozessoren. Dafür haben sie zwischen Speicher, eigentlichem Prozessor und Schnittstelle schnelle Datenkanäle [26].

[2]data monitoring, Datenüberwachung

[3]Konstanten, die die genaue Position des Detektors angeben

- Level-2

  Auf den Farmrechnern dieser Triggerstufe soll die Datenüberwachung auf niedriger Ebene stattfinden.

- Level-4-Farm

  Die mittlerweile betriebsbereite Farm besteht aus 200 CPUs und soll für die Online-Ereignisrekonstruktion und für die Ereignisklassifizierung genutzt werden. Über diese Farm werden die ausgewählten (d.h. auf allen Triggerstufen akzeptierten) Daten mit einer Bandbreite von über 2 MB/s auf Band geschrieben.

## 3.4 Datenweg und Datenformate

In diesem Kapitel werden kurz der Weg der Detektordaten von der analogen Auslese bis zu den endgültig gespeicherten oder analysierten Daten und deren Formate beschrieben. Einen Überblick über den Datenweg und die Kontrollsignale bei HERA-*B* gibt Abbildung 3.1.

Die einzelnen Detektorkomponenten lesen ihre verschiedenen Daten auch noch in sehr unterschiedlichen Datenformaten aus. Nach den FED[4] Komponenten, also in den Zwischenspeichern der zweiten Stufe, liegen die digitalisierten Daten in einem einheitlichen Format vor. Nach einem Trigger vom First Level Trigger (FLT) senden die FEDs für dieses Ereignis einen Datenblock los, der von den Zwischenspeichern der zweiten Stufe (Second Level Buffer, SLB) empfangen und zwischengespeichert wird. Auch ohne Daten wird auf jeden Fall der Header versendet, also die zusätzlichen Informationen wie die Nummern zum Identifizieren der Detektorkomponente und des Datensatzes. Die SLBs wiederum senden auf entsprechende Anfrage Daten weiter an die Second Level Trigger-Einheiten (SLT). Wenn auf dieser Triggerstufe das Ereignis akzeptiert wurde, werden die Ereignisdaten über Ethernet in die Prozessorfarm geleitet, um dort weiterverarbeitet und dann auf Band gespeichert zu werden.

[4] Front End Driver

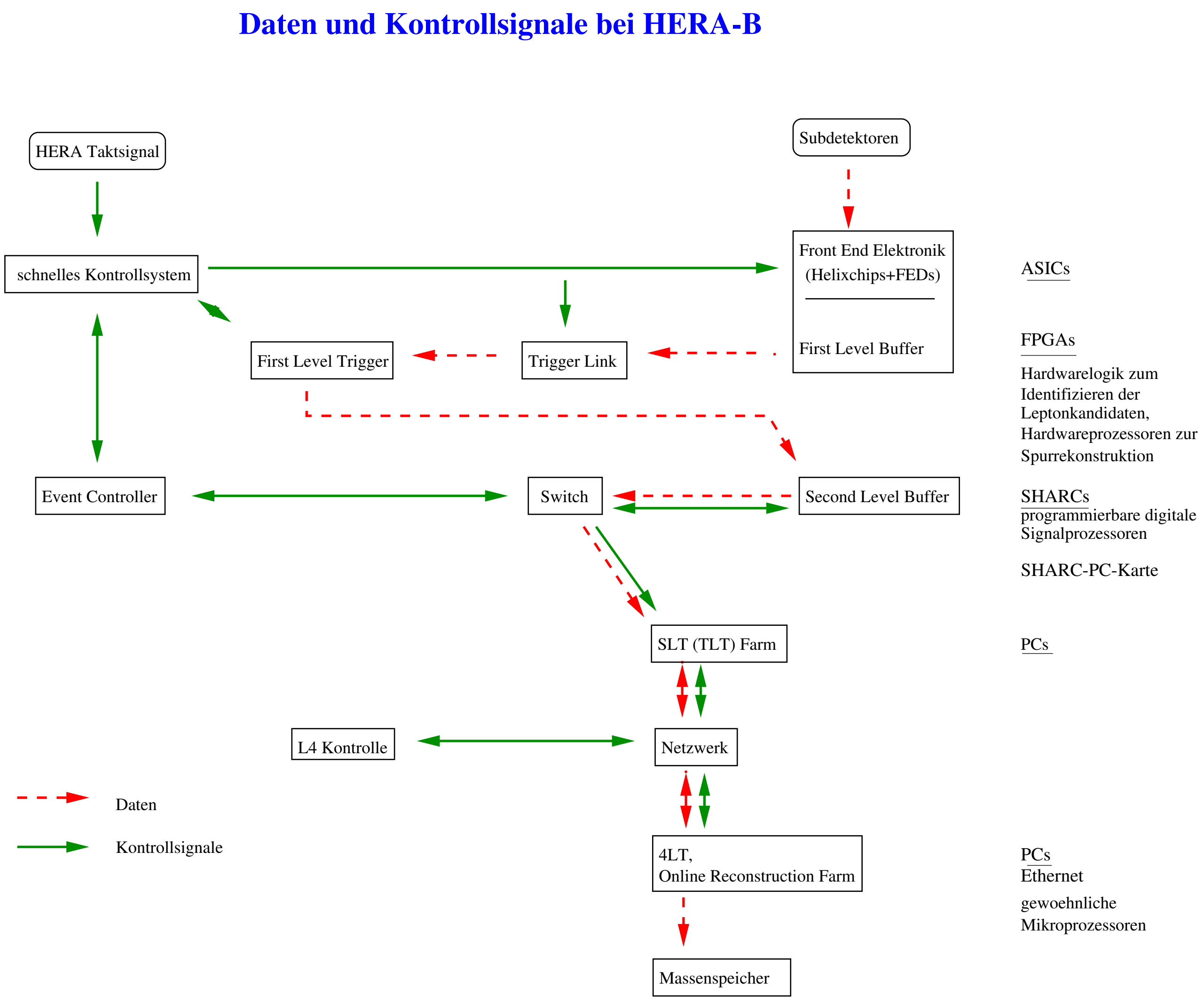



Abbildung 3.1: *Übersicht über die Komponenten des Datennahmesystems [19]. Ganz links sind die Einheiten zur Kontrolle des Datenflusses dargestellt. Parallel zum Trigger befinden sich die Daten in verschiedenen Stufen der Zwischenspeicherung: in den komponentenspezifischen Speichern der ersten Stufe (unsere Pipeline), in den Second Level Buffern und dann in der Rekonstruktionsfarm, bevor sie auf Band gespeichert werden. Ganz rechts in dem Diagramm ist angegeben, woraus die Komponenten dieses Systems bestehen: auf der ersten Stufe aus speziell entworfenen Schaltungen, der First Level Trigger nutzt Hardwarelogik, die Zwischenspeicher der zweiten Stufe bestehen aus SHARC-Prozessoren, die weiteren Einheiten nutzen dann Softwarelogik und bestehen aus gewöhnlichen Mikroprozessoren.*

- Analogdaten des Helixchips und Digitalisierung

  Beim Inneren Spurkammersystem senden je zwei Helixchips ihre Analogdaten der 128 Kanäle hintereinander. Auf die Analogdaten folgen jeweils in acht Kanälen die in acht Bit kodierten Spalteninformationen. Die Pipelines auf dem Helixchip bilden die Zwischenspeicher für die erste Triggerstufe.

  Nach der Digitalisierung erhält man also pro FED $2 \cdot 128 + 2 \cdot 8 = 272$ Bytes. Der Datenblock ist insgesamt 288 Bytes lang, die restlichen 16 Bytes sind mit den Werten der Baseline und einem Status-/Fehlerbyte aufgefüllt.

- HERA-*B*-Datenerfassung, First Level Trigger

  Während die Daten in den Zwischenspeichern der ersten Triggerstufe stehen, untersucht diese Stufe das Ereignis. Jedem akzeptierten Ereignis ordnet der First Level Trigger eine fortlaufende FLT-Nummer zu. Diese Ereignisnummern werden über das Fast Control System[5] an die FEDs verteilt, die dann die Daten mit dieser Nummer versehen an die Zwischenspeicher der nächsten Triggerstufe, die Second Level Buffer, weiterversenden können. An dieser Stelle kann es zu Totzeiten kommen, wenn die Pipelines nicht ausgelesen werden können, weil die Speicher der zweiten Triggerstufe bereits belegt sind. In diesem Fall wird der First Level Trigger kein weiteres Ereignis akzeptieren, bis in den Zwischenspeichern wieder Platz zur Verfügung steht [31].

- Datenformat im Second-Level-Buffer

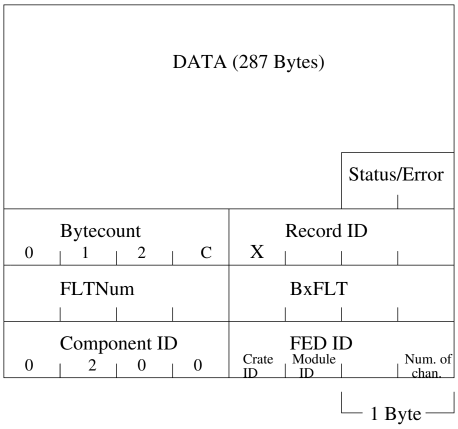



Abbildung 3.2: *Das Datenformat im Second-Level-Buffer. Bytecount gibt die Länge des Datenblocks in Bytes an. Diese ist für den ITR konstant 300 Bytes. Die Record ID dient zur Identifizierung des Datensatzes, dabei spezifiziert X die Herkunft und eventuelle Fehler der Daten. Die Component ID bezeichnet die jeweilige Detektorkomponente, für den ITR ist sie 0x0200. Die FED ID setzt sich zusammen aus der Crate-ID, der Modul-ID und der Anzahl der verschickten Kanäle. Die FLT-Nummer FLTNum kennzeichnet fortlaufend vom First Level Trigger akzeptierte Ereignisse. BxFLT gibt das Bunchcrossing an [19].*

Welche Informationen stehen nun in den Second-Level-Buffern zur Verfügung und wie sind die Daten dort gespeichert? Dieses Format ist für uns interessant, weil beim Monitoring letztendlich die Daten daraus gelesen werden.

[5]Das schnelle Kontrollsystem (Fast Control System, FCS) verteilt Zeitreferenzen wie die HERA-Clock, Triggerinformationen und Testsignale an die Ausleseelektronik aller Detektorkomponenten [30].

In Abbildung 3.2 ist dieses Datenformat dargestellt. Bytecount gibt die Länge des Datenblocks bestehend aus Datenblock und Trailer in Bytes an. Diese ist für den ITR konstant 300 Bytes. Die Record-ID dient der Identifizierung des Datensatzes. X spezifiziert die Art und Qualität der Daten, ob aus FED oder aus Second-Level-Buffer, ob mit oder ohne Fehler. Die Komponenten ID identifiziert den Subdetektor, von dem der Datenblock stammt und ist für den ITR $0x0200$. Die FED-ID kennzeichnet die FED-Einheit, von der die Daten gesendet wurden. Sie setzt sich zusammen aus der Crate-ID (die Nummer des Crates, in dem die FED-Karte steckt), der Modul-ID (die Nummer des FED-Moduls) und der Anzahl der verschickten Kanäle. Die First-Level-Trigger-Nummer FLTNum kennzeichnet fortlaufend vom First Level Trigger akzeptierte Ereignisse. Die 16-Bit-Nummer ist für $2^{16} \cdot 20\ \mu\mathrm{s} = 1,3$ s eindeutig. Das reicht aus zur Identifizierung eines Ereignisses bis zur Auslese der Daten aus den Zwischenspeichern der zweiten Triggerstufe. Die Bunchnummer (BxFLT) wird vom schnellen Kontrollsystem vergeben und gibt das Bunchcrossing an. Die Status- und Fehlerbits markieren ganze Ereignisse als „schlecht“ und geben Probleme in der Auslese wie volle Zwischenspeicher an. Da man anhand dieser Nummern die Datenblöcke identifizieren kann, können die einzelnen Verarbeitungsschritte der verschiedenen Datenpfade asynchron zueinander sein, sobald die Daten in den Second-Level-Buffern angekommen sind.

- Second-(Third)-Level-Trigger-Farm

  Um die Detektordaten auf dieser Stufe immer zuordnen zu können und um das Verteilen auf die verschiedenen Rechner der Farm zu kontrollieren, enthalten die Datenblöcke nach den Zwischenspeichern der zweiten Stufe zusätzlich die Nummer des Zwischenspeichers, von dem sie stammen, und eine Zieladresse des Farmknotens, zu dem sie geschickt werden.

  Die Farm selbst besteht aus gewöhnlichen PCs.

- Event Format

  Im Event Format sind die Daten aller Detektorkomponenten zusammengefaßt, die nun alle zur Verfügung stehen. Neue Informationen in dieser Verarbeitungsstufe sind die Triggernummer des Second Level Triggers, eine Bitmaske zur Identifizierung der enthaltenen Detektorkomponenten und eine Maske zur Datenselektion. Der Datenblock selbst enthält einfach die Datenblöcke, wie sie nach den Zwischenspeichern der zweiten Stufe zur Verfügung stehen. In Abbildung 3.3 ist die Schachtelung der verschiedenen Datenblöcke ineinander der Übersicht halber dargestellt.

- Fourth Level Farm, Logger

  Die 200 CPUs der Farm dienen zur Online-Rekonstruktion und zur Klassifizierung der Ereignisse. Jeder Knoten hat am Eingang einen Ereignispuffer, der mehrere Ereignisse speichern kann, bis der Knoten sie bearbeitet hat. Von hier aus werden alle Daten auf Band geschrieben. Außerdem wird die Farm momentan genutzt, um schon gespeicherte Dateien, die Rohdaten enthalten, zu prozessieren und dann wieder als „bearbeitete“ Dateien zu archivieren. Datennahme und dieses Prozessieren können parallel auf verschiedenen Rechnern stattfinden.

- offline ARTE

  In ARTE findet die volle Offline-Rekonstruktion statt und stellt damit die Basis der folgenden physikalischen Analyse dar. ARTE beinhaltet die Spur- und Vertexrekonstruktion der verschiedenen Subdetektoren, die gesamte Geometrieinformation, Tabellen für das Alignment und das HERA-$B$ Event Display *prism*.

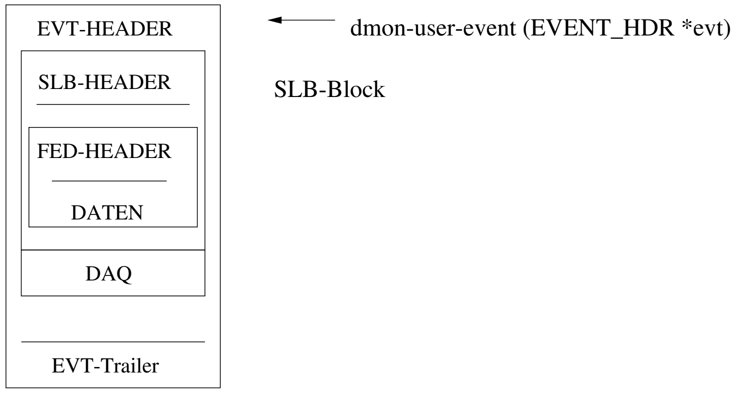



Abbildung 3.3: *Schachtelung der Datenblöcke.*

Es folgt ein Beispiel für das Event-Datenformat[6]. Darin enthalten ist zur Veranschaulichung nur ein Datenblock mit den Daten zweier Helixchips. Alle anderen SLB-Blöcke mit Daten der Inneren Spurkammern und der anderen Detektorkomponenten wurden gelöscht. Ursprünglich enthielt dieser Ereignisblock 82 SLB-Blöcke.

```
EVENT: (length = 76160 bytes, format = 0x0)
  Record id :      0x3000    SLT Event :    69366
  Comp. mask: 0x16000000    Event mask: 0x00000001

        SLB: (length = 76 bytes)
          Record ID: 0x2000    FLT  #: 47789
          Comp. ID : 0x0000    SLB ID:     0

                EVENT RECORD:
                  Run number  :      12358    EXP Number  :          2
                  FLT Status  :          0    SLT Status:          0
                  Event Status:          0
                  SLP Node    :          0    Farm Node :         70
                  phys. BX    :        120    FLT_BX    :        189
                  FLT evt #   :      47789    T-Code    :       0x09
                  BX Number   : 0x010d765a71f1
                  Event Time  : 02:22:33  15-Dec-99
                  DB key      :       3942    DB Version:          0
        END SLB
        SLB Tail (Record ID: 0x2000    FLT #: 47789)

       SLB: (length = 612 bytes)
          Record ID: 0x2000    FLT  #: 47789
          Comp. ID : 0x0200    SLB ID:    36

                SLB SUB: (length = 296 bytes)
                  FED ID: 0x242b   Record ID: 0x1000    BX ID: 4294949549
 76 76 76 76 76 76 76 6d 70 73 6e 70 68 6e 71 78 74 79 71 73 7a 7a 78 75
 76 77 7b 79 7a 7b 7c 7e 70 7d 7d 76 79 7d 7b 7a 7c 7d 77 7b 7d 7a 74 7b
```

[6]Diese Rohdaten kann man sich mit dem Befehl *dumpev* ausgeben lassen.

```
 73 78 7e 7b 7a 7e 79 7e 7d 84 7a 7a 7b 7b 7b 7d 80 79 80 83 7d 79 7c 7d
 7b 7f 7e 7a 7d 78 79 7c 7c 7e 7a 7a 7b 7d 7d 7e 7d 83 83 7e 7d 88 7e 7d
 80 87 81 82 7d 82 84 84 7f 83 8d 82 7e 86 7e 7e 79 81 81 7f 82 82 89 83
 7c 83 82 84 7e 87 87 88 81 8c 81 81 85 85 7e 5b 5a 5a 5a 98 5a 98 5b 7f
 7a 7e 7a 81 78 7a 7b 7b 77 7f 7b 7a 7e 7e 7d 7d 7d 82 82 82 7c 7e 7f 86
 7f 80 7c 85 80 7f 7f 7f 7b 86 7d 80 7a 7b 83 7e 7a 80 7e 84 79 80 84 81
 80 7e 7a 7d 82 7f 77 7f 81 81 87 80 7a 7c 80 82 79 7e 7b 7e 7d 80 7d 7e
 7a 82 7a 7e 80 81 7e 7f 7c 7f 80 81 7c 81 84 83 82 81 82 83 84 82 7e 88
 82 89 84 7e 7c 85 7f 84 7b 86 84 87 82 82 80 85 81 87 80 84 7f 80 86 87
 86 84 7d 84 88 86 83 59 58 57 56 93 58 92 57 75 76 76 76 76 76 76 76 00

                END SLB SUB

                SLB SUB: (length = 296 bytes)
                  FED ID: 0x242a   Record ID: 0x1000    BX ID: 4294949549
 6c 6c 6c 6c 6c 6c 6c 5b 51 58 57 59 4f 52 54 66 63 65 61 64 65 61 65 65
 61 65 68 62 60 65 68 66 62 67 6c 6a 69 67 63 62 67 63 64 67 68 64 6b 69
 68 6c 63 68 65 68 68 66 66 6a 6a 6b 65 6d 65 69 69 65 69 66 65 61 62 68
 65 65 65 69 68 65 60 67 66 6b 66 61 66 68 68 66 67 6d 69 64 6f 6d 67 69
 6d 6a 6d 68 6d 6a 6e 68 6d 70 6a 6b 6a 69 6d 67 66 71 6e 6d 6d 6e 6a 6c
 6a 6e 67 6f 6a 6d 6d 66 6a 6c 65 67 69 6b 66 4a 49 49 48 84 49 84 49 75
 7b 7c 77 76 7c 75 79 79 70 79 80 78 79 72 74 73 76 75 79 74 76 7c 78 7a
 77 78 7b 79 76 78 77 76 74 6e 72 73 78 73 75 76 74 72 70 74 72 75 76 70
 75 71 76 74 76 76 76 76 75 75 75 78 74 78 76 77 75 78 75 75 74 72 74 70
 70 73 78 72 77 72 73 76 78 78 7d 76 77 75 78 7c 7c 7c 7a 7a 73 75 78 7c
 78 7a 73 7b 79 7d 76 73 79 78 78 77 7a 7b 7a 77 7c 78 82 7a 78 7b 78 79
 76 7a 79 78 7f 7a 7e 54 55 54 54 8f 55 8e 54 6c 6c 6c 6c 6c 6c 6c 6c 00

                END SLB SUB

        END SLB : (contains 2 FED blocks)
        SLB Tail (Record ID: 0x2000    FLT #: 47789)

[...]

END EVENT : (contains 82 SLB blocks)
EVENT Tail (SLT Event:      69366)
```

## 3.5 Software, Beschreibung der Pakete für den ITR

Ziel des Monitoring ist es, möglichst schnell bei der Datennahme kontrollieren zu können, ob die Daten gut bzw. brauchbar sind. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Daten bis hin zum Finden der Pulse und deren Analyse verarbeitet werden. Die dazu eingesetzten ITR-spezifischen Programme und der Verarbeitungsweg werden in diesem Kapitel beschrieben. Welche Bearbeitungsschritte in welchem Programm vorgenommen werden zeigt zum Überblick Abb. 3.4.

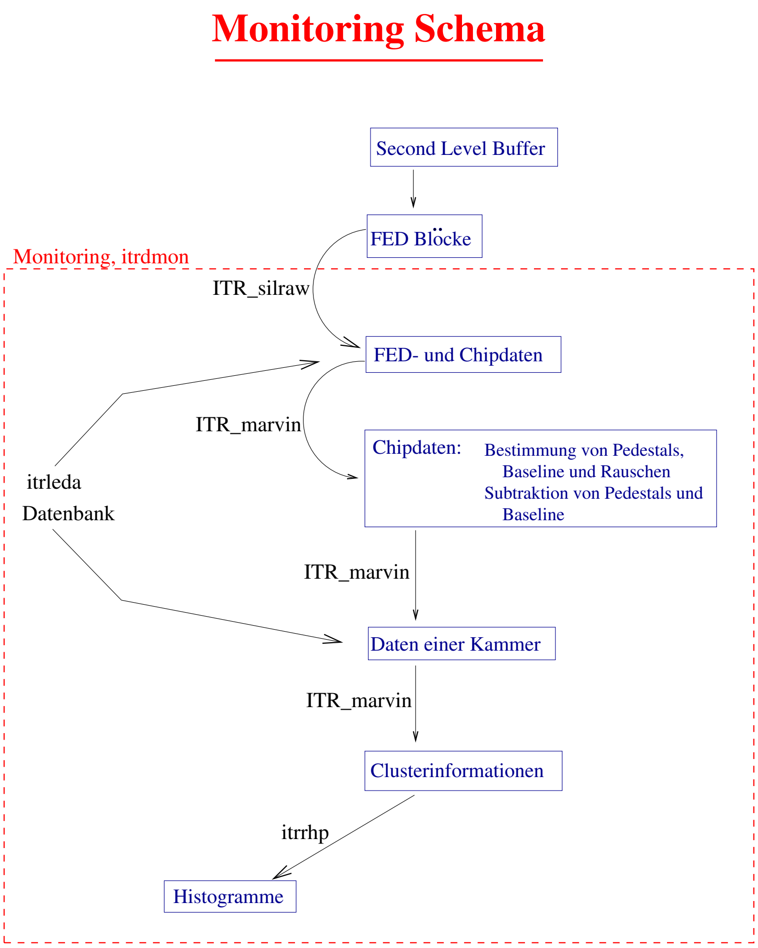



Abbildung 3.4: *Überblick über das Monitoring.*

### 3.5.1 ITR_silraw: Zugriff auf Rohdaten

In diesem Paket sind ITR-spezifische Funktionen zusammengefaßt, welche auf die Rohdaten zugreifen und sie nach kleinen Tests für die weitere Bearbeitung und Analyse in einem einheitlichen Format bereitstellen. Das Programm selbst kann die Rohdaten in verschiedenen Formaten einlesen: aus einem „EVENT Block", aus einer Liste von „SLB-Blöcken" und aus dem „SLB-Event" Datenformat.

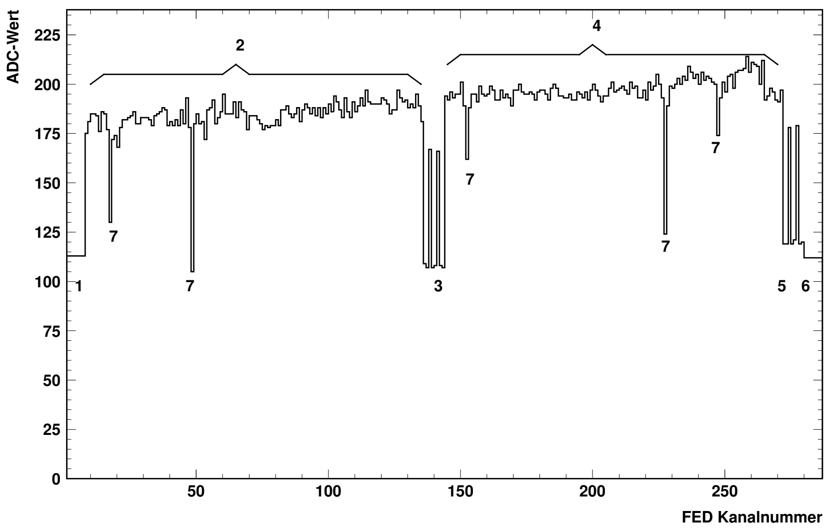



Abbildung 3.5: *Daten eines FED vor jeglicher Korrektur. Man sieht nacheinander ein Stück Baseline der Übertragungskette (1), die Daten des ersten Helixchips (2), eine Spaltennummer (3), die Daten des zweiten Chips (4), die zweite Spaltennummer (5) und wieder ein Bereich mit der Baseline (6). In diesem Ereignis sind einige Hits zu erkennen (7).*

Zum Einlesen der Daten müssen aus dem gesamten übertragenen Datenblock die Second-Level-Buffer-Blöcke der Inneren Spurkammern herausgesucht werden. Daraus wiederum werden die Daten der einzelnen FEDs separiert. Einen solchen FED-Block sieht man in Abbildung 3.5. Die FEDdaten enthalten von zwei Chips die Pulshöheninformationen jedes Streifens (in der Abbildung Teile 2 und 4), so daß daraus getrennt die Daten pro Chip herausgelesen werden müssen. Außerdem wird hier die Spalteninformation gesucht und ausgewertet, die der Helixchip mitschickt. Die Spalteninformationen sind an den Stellen 3 und 5 zu sehen. Die Spaltennummer enthält die Spalte (0 bis 141 bzw. 135) der Pipeline, in der das Signal gespeichert ist. In der Abbildung kann man erkennen, daß beide Chips korrekterweise die gleiche Spalteninformation gesendet haben. In den Daten beider Chips finden sich Pulse, markiert mit 7.

Ab und zu kann es vorkommen, daß nicht alle Helixchips synchron sind oder daß Fehler beim Erkennen der Spalteninformation aufgetreten sind. Um solche Fehler zu erkennen, werden im Programm einige Tests durchgeführt. Es wird beispielsweise gezählt, wieviele Helixchips nicht synchron zu den anderen gesendet haben. Wenn ein Chip immer falsche Informationen sendet, wird er aus der weiteren Analyse ausgeschlossen. Falls aus einem der oben genannten Gründe eine falsche Pipelinenummer erkannt wurde, wird im weiteren Programm für diesen Chip die in diesem Ereignis am häufigsten aufgetretene Nummer verwendet. In Abb. 3.6 ist solch eine falsche Spaltennummer zu erkennen.

Aus dem Datenblock muß der Beginn der eigentlichen Informationen gefunden werden. In beiden Abbildungen sieht man deutlich, daß die Chipdaten erst nach einem Offset von typischerweise sechs bis neun Bytes beginnen. Dieser Offset kann eingestellt werden durch Verzögerungen in der elektronischen Auslese. In der einfachsten Version des Programms ist der Offsetwert für jede der zehn ITR-Stationen fest eingestellt. Nun kann das Problem auftreten, daß die Steuersignale/Verzögerungen in der Auslese nicht perfekt aufeinander abgestimmt sind. Das hat zur Folge, daß der Beginn der Daten in einem FED-Block nicht in jedem Ereignis an der gleichen

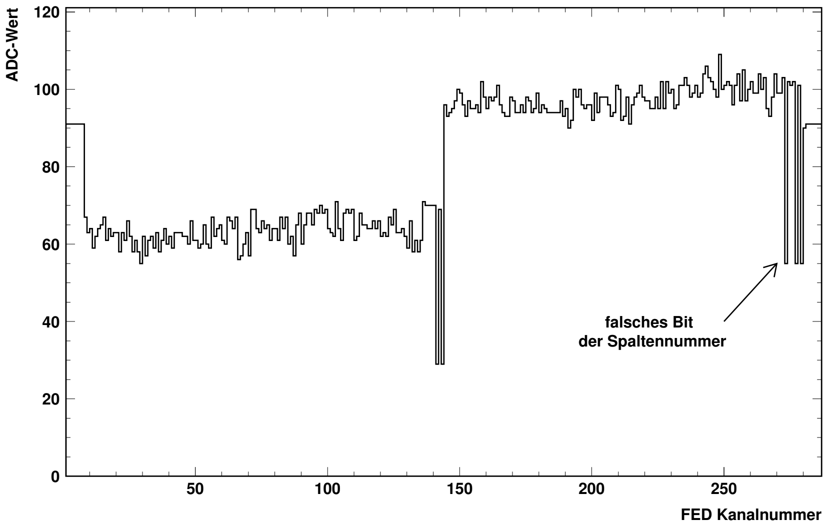



Abbildung 3.6: *Daten eines FED vor jeglicher Korrektur mit falscher Spaltennummer (Erläuterung im Text). Beachtenswert ist die unterschiedliche Lage der Baseline der beiden Chips um 60 und um 100 ADC-Einheiten.*

Stelle ist, sondern springt. Infolgedessen wird erstens der Ort der Cluster in einigen Ereignissen um den falschen Offset nicht richtig bestimmt, da der Kanal falsch zugeordnet wird. Zweitens wird dadurch in einigen Ereignissen ein Teil der Spalteninformation nicht als solche, sondern als Chipdaten erkannt. Folgerichtig wird an dieser Stelle ein Puls gefunden werden. Dieses Phänomen des springenden Offsets wird „Jitter“ genannt. Falls es nicht gelingt, die Auslese einzustellen, muß im Programm anhand der relativ leicht zu erkennenden Spalteninformation der richtige Offset bei jedem Ereignis von neuem bestimmt werden. Der Jitter darf allerdings nicht auftreten, wenn die Inneren Spurkammern zum Trigger beitragen sollen, da der springende Offset dafür nicht korrigiert werden kann.

Nach dem Aufruf des Programmes ITR_silraw stehen die weiter benötigten Daten leicht zugänglich in einer festen Struktur, die hauptsächlich die Header-Informationen wie Bunchnummer und FLTnummer enthält und die Ereignisdaten für jeden Chip mit der dazugehörenden Spalteninformation.

### 3.5.2 ITR_marvin: Bearbeitung und Pulssuche

Dieses Paket faßt alle Funktionen zur Bearbeitung der Daten und zur Pulssuche zuammen. Anfangs werden noch die Daten einzelner Helixchips bearbeitet, dann werden die Cluster in jeder Kammer gesucht. In den folgenden Abschnitten werden die Bearbeitungsschritte näher erläutert.

Wie in Abbildung 3.6 gezeigt wird, ändert sich der gemessene Analogwert von Kanal zu Kanal auch dann, wenn keine Pulse gezählt werden. Ursachen dafür sind:

1. Baselineschwankungen von einem Ereignis zum nächsten. Grund dafür können niederfrequente elektronische Störungen sein. Die mittleren ausgelesenen Ladungswerte sind daher von Ereignis zu Ereignis verschieden.

2. Baubedingte, zeitlich konstante Unterschiede der Verstärkung einzelner Kanäle (Pedestals). Die Pedestals sind somit bei jedem Ereignis gleich.

3. Elektronisches Rauschen. Die Höhe des elektronischen Rauschens der Vorverstärker ist ebenfalls von Ereignis zu Ereignis unterschiedlich.

Ein effizientes Auffinden der Signalpulse mit möglichst wenig zusätzlichen Rauschpulsen erfordert die Korrektur der Rohdaten auf die ersten beiden Effekte.

### Pedestalbestimmung und -subtraktion

Von den digitalisierten Rohdaten werden im Programm ITR_marvin die baubedingten Kanal-zu-Kanal-Variationen subtrahiert. Die Variationen werden verursacht durch den unterschiedlichen Verstärkungsfaktor der einzelnen Kanäle. Daher sollten sie von Run zu Run gleichbleiben.

Die Berechnung verläuft folgendermaßen: zu Beginn eines Runs werden Pedestalwerte aus der Datenbank subtrahiert, die in einem früheren Run berechnet wurden. Dann werden die Pedestals für jeden Kanal berechnet mit

$$ped_{n+1} = (1 - w) \cdot ped_n + w \cdot d_{n+1}$$

mit einem Gewicht $w = \frac{1}{n_{ev}}$ ($n_{ev}$ Anzahl der Ereignisse, nach einigen Hundert Ereignissen bleibt das Gewicht konstant). Dabei sind $ped_n$ die Pedestalhöhen des speziellen Kanals im $n$-ten Ereignis in ADC-Einheiten, $d_n$ sind die unkorrigierten ADC-Werte dieses Kanals im $n$-ten Ereignis. Der Pedestalwert kann entweder pro Kanal bestimmt werden oder für jede Zelle in der Pipeline jedes Auslesekanals. In vielen Fällen ist diese Korrektur auch ohne zusätzliche Baselinesubtraktion schon ausreichend, um Pulse sicher finden zu können. Nachdem die Pedestals so bestimmt worden sind, werden sie im weiteren Programmverlauf in regelmäßigen Abständen nachgeführt, das bedeutet, sie werden unter Berücksichtigung der am Anfang berechneten Werte weiter angepaßt. Das Gewicht bleibt dabei konstant und verringert sich nicht mehr. In Abbildung 3.7 sind ganz oben die Rohdaten einer Kammer, d.h die Pulshöheninformationen aller ihrer Streifen, dargestellt. Das zweite Bild zeigt die gleichen Daten nach der Pedestalkorrektur. Die Daten sollten nach dieser Korrektur im Mittel um Null herum liegen, und Pulse sollten deutlich erkennbare negative Signale sein.

### Baselinebestimmung

Der nächste Schritt ist die Baselinesubtraktion. Es gibt die Möglichkeit, eine Baseline durch ein Polynom (bis zu dritten Grades ist im Programm möglich) anzunähern und dieses Polynom dann von den pedestalkorrigierten Daten zu subtrahieren. Dabei werden als heiß oder tot gekennzeichnete Kanäle bei der Berechnung des Polynoms nicht berücksichtigt. Heiße Kanäle sind solche, die in fast jedem Ereignis ein Signal zeigen, tote solche, die kein Signal mehr zeigen. Das Ergebnis dieses Schrittes zeigen in Abb. 3.7 das dritte und vierte Bild. Das dritte zeigt die Daten nach Pedestal- und linearer Baselinesubtraktion, das vierte nach Pedestal- und quadratischer Baselinesubtraktion. Es hat sich gezeigt, daß die Pedestalsubtraktion in den meisten Fällen schon ausreichend ist. Eine lineare Baselinesubtraktion führt zu noch geringfügig besseren Ergebnissen, eine quadratische dagegen führt besonders bei großen Pulsen oder einer hohen Occupancy manchmal zu Verzerrungen. Falls in der weiteren Analyse festgestellt wird, daß solch eine Baselinebestimmung und -subtraktion doch wichtig ist, müssen noch Anpassungen und Verbesserungen vorgenommen werden.

### Ausschließen eines Chips aus der Analyse

Im nächsten Schritt hat man die Möglichkeit, einen ganzen Chip nicht zur weiteren Analyse zuzulassen, indem man überprüft, ob für diesen Chip das durchschnittliche Verhältnis von Signal zu Rauschen über einer einzustellenden Schwelle liegt. In der weiteren hier beschriebenen Analyse wurde diese Möglichkeit allerdings nicht genutzt.

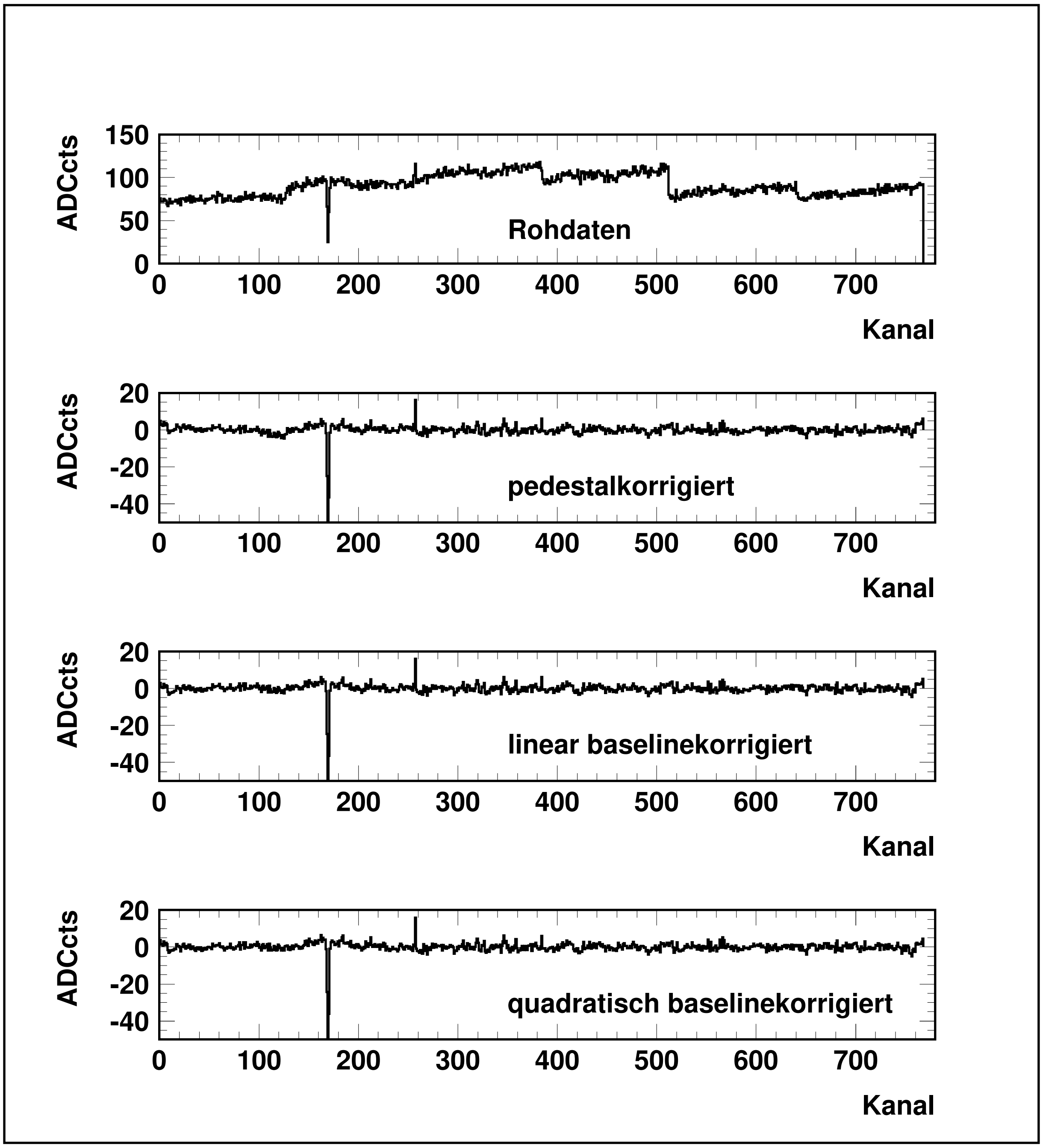



Abbildung 3.7: *Von oben nach unten: Rohdaten für eine Kammer, die gleichen Daten nach Pedestalsubtraktion, nach Pedestal- und linearer Baselinesubtraktion und nach Pedestal- und quadratischer Baselinesubtraktion. Im ersten Chip (bis Kanal 128) sieht man, daß die lineare Baselinesubtraktion die korrigierten Daten noch etwas verbessert hat. In den Daten des zweiten Chips ist ein Puls sichtbar.*

### Bestimmung des Rauschens

In dem Programmpaket wird auf zwei verschiedene Arten versucht, das Rauschen zu bestimmen. Als erstes eine einfache Berechnung für alle Kanäle mit den Daten, die nur auf die Kanal-zu-Kanalvariationen korrigiert wurden.

In den ersten Ereignissen (die Anzahl kann eingegeben werden) des Runs wird jeweils ein Gewicht $w = \frac{1}{n_{ev}}$ berechnet, wobei $n_{ev}$ (Anzahl der Ereignisse) angibt, wie oft dieser Programmteil schon ausgeführt wurde. Das Rauschen $\sigma_n$ für jeden Kanal wird iterativ folgendermaßen bestimmt:

$$\sigma_{n+1}^2 = \sigma_n^2 + w \cdot (d_{n+1}^2 - \sigma_n^2) = (1-w) \cdot \sigma_n^2 + w \cdot d_{n+1}^2.$$

Dabei bedeutet $d_n$ die schon pedestalkorrigierte Pulshöheninformation des gerade betrachteten Kanals im $n$-ten Ereignis. Im weiteren Programmverlauf wird das Rauschen mit dem zuletzt erreichten Gewicht weiter bestimmt.

Im Programm wird nun auf die zweite Art das Rauschen berechnet, das Ergebnis ist in Abbildung 3.8 zu sehen. Nach der Baselinesubtraktion wird wie oben beschrieben noch einmal ein Rauschen berechnet, dieses Mal werden aber Kanäle, in denen man einen Hit vermutet, nicht zur Berechnung hinzugezogen. Man nimmt an, einen Hit in dem betrachteten Kanal zu haben, wenn die Abweichung des aktuellen Wertes vom Mittelwert für dieses Ereignis mehr als drei Standardabweichungen beträgt. Die hier berechneten Werte werden in der Berechnung des Verhältnisses von Signal zu Rauschen verwendet.

Damit ist die Behandlung eines Chips abgeschlossen. Bis jetzt wurden mit Hilfe des Pakets ITR_silraw die Daten eingelesen, deren Beginn gefunden und die Spaltennummer bestimmt. In ITR_marvin wurden die Daten jedes einzelnen Chips durch Subtraktion der Kanal-zu-Kanalvariation und der Baseline so aufbereitet, daß sie um Null herum liegen und nur noch die Cluster als negative Pulse sichtbar sind.

So korrigierte Daten zeigt auch Abb. 3.9. Links sind die korrigierten Daten einer Kammer bei einem Ereignis gezeigt, rechts werden die gleichen Daten in einem Histogramm gezeigt, um das Rauschen der Kammer mittels eines Gaußfits abschätzen zu können. Dies soll nur zur Illustration dienen, das Rauschen einzelner Chips wird später noch genauer untersucht.

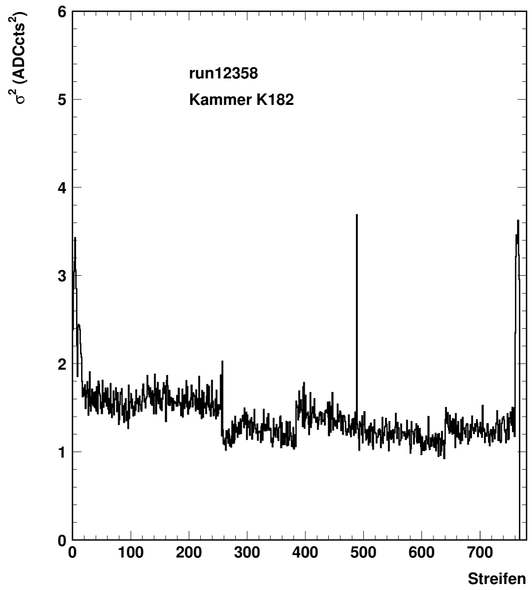



Abbildung 3.8: *In diesem Histogramm ist für jeden Streifen der Kammer K182 sein quadratisches Rauschen eingetragen. Die Berechnung ist im Text in diesem Abschnitt erläutert.*

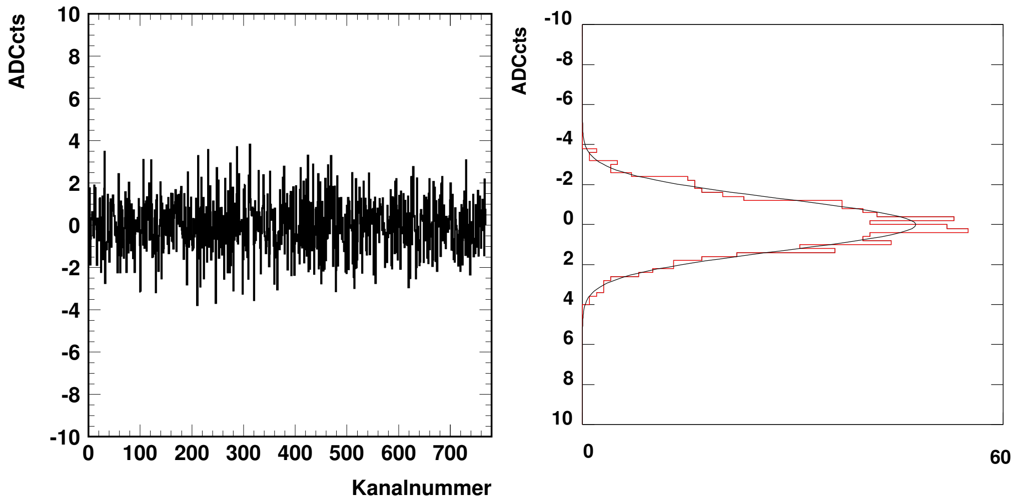



Abbildung 3.9: *Links sind die pedestal- und baselinekorrigierte Daten eines Ereignisses dargestellt. Rechts sind diese Daten auf die Achse projiziert worden und zeigen das Rauschen der ganzen Kammer. Die daran gefittete Gaußkurve hat einen Mittelwert* $0,96 \cdot 10^{-2}$ *und* $\sigma = 1,28$ *ADC-Einheiten.*

### Korrektur auf Verstärkung der Übertragungskette

Nach Analyse der ersten Daten hat sich gezeigt, daß das Rauschen nicht nur von Chip zu Chip, sondern besonders von PCB (Printed Circuit Board) zu PCB schwankt (vgl. Abb. 3.10). Hier sei noch einmal daran erinnert, daß sich auf einem PCB je zwei Helixchips befinden, die gemeinsam ausgelesen werden. Ursache für die Schwankungen sind Unterschiede in den Verstärkungsfaktoren der Übertragungskette. Links in der Abbildung 3.10 sind die pedestal- und baselinesubtrahierten Daten für jeden Kanal einer Kammer in das Histogramm eingetragen worden. Wie deutlich zu sehen ist, ist im mittleren PCB das Rauschen geringer. In der rechten Darstellung wurde die im folgenden beschriebene Korrektur durchgeführt, und das Rauschen der Chips auf allen drei PCBs ist gleichmäßiger geworden.

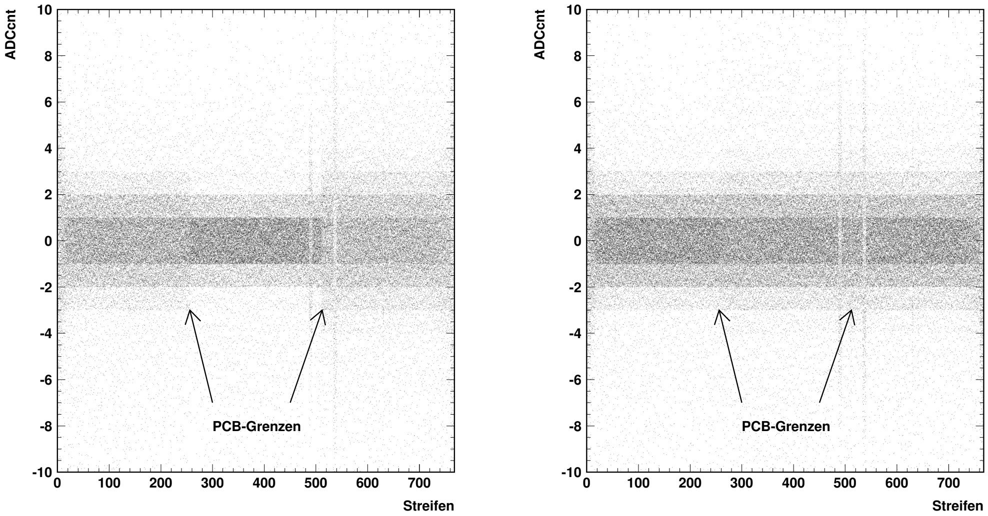



Abbildung 3.10: *Dargestellt ist das Rauschen für jeden Kanal der Kammer K151 aus dem Run 12357. Eingetragen in das Histogramm werden die pedestal- und baselinekorrigierten Daten.* Links: *Schwankungen des Rauschens PCBweise ohne Korrektur.* Rechts: *Nach der Verstärkungskorrektur.*

Um die unterschiedlichen Verstärkungen in der Übertragungskette auszugleichen, wurde hier noch eine zusätzlich Korrektur eingeführt. Anhand der Höhe der Spalteninformation eines einzelnen Chips und der mittleren Höhe für alle Chips wird ein Korrekturfaktor berechnet, mit dem alle Daten jedes Chips multipliziert werden. Dabei wird davon ausgegangen, daß die Höhe der Spalteninformation, die jeder Chip sendet, baubedingt um höchstens $\pm 10\%$ schwankt. Diese Annahme ist begründet, da die acht Bits der Spalteninformation durch das Entladen von Kondensatoren erzeugt werden. Die Höhe der Spalteninformation ist unabhängig von Schwankungen in den Verstärkungen einzelner Kanäle, da die Spaltennummer erst ab dem Multiplexer zu dem Datenstrom eines Chips hinzugefügt wird. Insofern kann sie als Maß für Verluste beispielsweise bei der Umwandlung in optische Signale und bei deren Übertragung gelten. Diese Korrektur und ihre Folgen werden in Kapitel 4.3.2 genauer erläutert.

### Pulssuche

Ziel ist es letztendlich, den Weg der Teilchen durch den Detektor zu finden und zu beschreiben. Dafür müssen die Signale gefunden werden, die die beim Durchgang eines ionisierenden Teilchens erzeugten Elektronen im Detektor auf den Anoden hervorrufen, während das Rauschen der

Elektronik unterdrückt werden soll. Die Pulssuche soll genau diese Trennung leisten. Ein Signal (oder Puls, Cluster) läßt sich durch folgende Größen beschreiben:

- Clusterhöhe: die maximale Höhe des Signals.
- Clusterbreite: Die von einem Teilchen ausgelöste Elektronenlawine trifft häufig auf mehrere Anoden und erzeugt dort ein Signal. Die Anzahl der getroffenen Streifen über der Schwelle ist die Clusterbreite.
- Clusterladung: die gesamte deponierte Ladung eines Clusters.
- Schwerpunkt des Clusters (center of gravity, cog): gibt den Ort des Ladungsschwerpunkts des Clusters an. Das ermöglicht eine bessere Auflösung als den Streifenabstand.

**Pulssuche.** Die Suche nach Pulsen läuft folgendermaßen ab: Die Informationen für die sechs Chips einer Kammer werden zusammengefaßt. An dieser Stelle im Programmablauf steht ein Datenbankaufruf, der die Relationen zwischen Helixchips und Kammer liefert. Der für die Pulssuche verwendete Algorithmus wurde von Katharina Müller für die Auswertung eines Testes am Paul-Scherrer-Institut in Villigen (Schweiz) geschrieben [32] und ist in Abbildung 3.11 illustriert. Der Algorithmus sucht nach einer fallenden Flanke in den Daten. Als erstes wird verlangt, daß dieser Sprung eine gewisse Höhe überschreitet (typischerweise 3-4 ADC Einheiten). Danach wird eine steigende Flanke gesucht mit der gleichen Bedingung. Damit ist ein Pulskandidat gefunden. Nach einer lokalen Baselinesuche werden die Ladung, Höhe, Breite und der Schwerpunkt berechnet. Wirklich akzeptiert werden nun nur solche Pulskandidaten, die folgende Bedingungen erfüllen:

- Die maximale Höhe des Pulses auf einem Streifen muß größer sein als eine Schwelle von typischerweise 5 ADC-Einheiten, das entspricht etwa 12500 Elektronen.
- Die Pulsbreite muß kleiner sein als eine einstellbare Schwelle, um breite niedrige Pulse zu vermeiden. Diese Schwelle liegt großzügig eingestellt bei 10 Streifen. Denselben Zweck erfüllt ein Schnitt auf die minimal verlangte Steigung des Pulses.
- In sehr verrauschten Ereignissen kann zusätzlich ein Mittelwert der Daten aller Kanäle und die quadratische Abweichung der über dem Mittelwert liegenden Kanäle berechnet werden. Außer der normalen festen Schwelle gibt es dann noch eine Schwelle in Abhängigkeit von der Abweichung. Auf diese Weise werden in verrauschten Ereignissen nur sehr hohe Pulse berücksichtigt. Um solche ein verrauschtes Ereignis überhaupt zu finden, wird gezählt, welcher Anteil der Kanäle stark positive Werte hat. Wenn dieser Anteil groß ist, wird die zusätzliche Schwelle aktiviert.
- Manchmal sind Pulskandidaten sehr unsymmetrisch, weil beispielsweise die Baselinekorrektur nicht funktioniert hat. Aus diesem Grund kann man die Pulsbreiten beidseitig des Maximums vergleichen und solche unsymmetrischen Pulse verwerfen.

Die in der Aufzählung erwähnten Parameter wie minimal erforderliche Pulshöhe und maximale Pulsbreite können alle vor dem Programmstart aus einer Datenbank oder aus einer Konfigurationsdatei eingelesen werden.

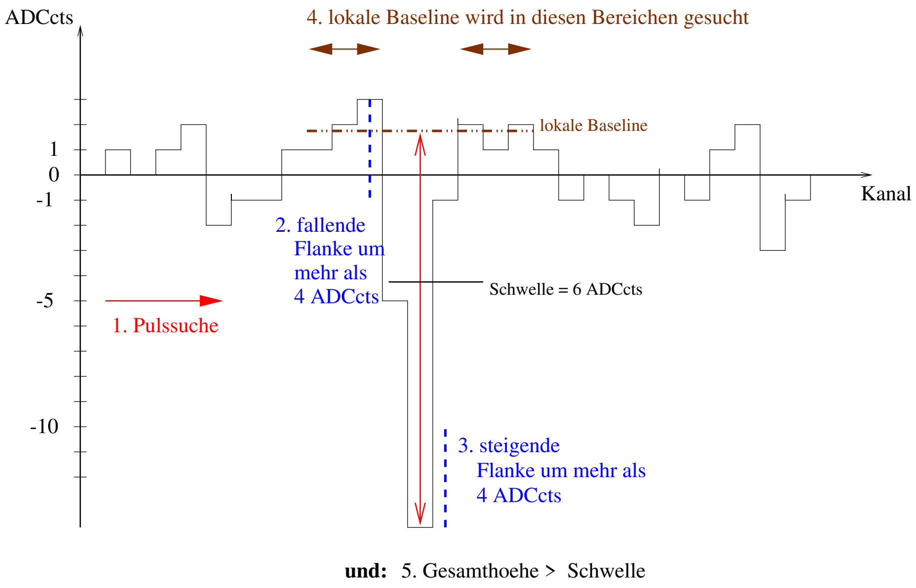



Abbildung 3.11: *Pulssuche.*

**Schwierigkeiten.** Schwierigkeiten bei dieser Pulssuche können Grenzen zwischen verschiedenen Chips machen. Meistens ist die Ursache dafür der nicht richtig erkannte Anfang der Daten ganz zu Beginn der Analyse, wenn im Readout der in Abschnitt 2.3.1 erwähnte Jitter aufgetreten ist. Das hat zur Folge, daß manchmal ein Bit der Spalteninformation zu den richtigen Daten gezählt wird. Diese Spalteninformation (s. Abb. 3.5) soll so liegen, daß die Werte eindeutig als logische 1 oder 0 erkannt werden. Folgerichtig findet der Pulssuchalgorithmus an dieser Stelle häufig einen Puls. Dabei versagt die Pedestalsubtraktion, weil erstens nicht in jedem Ereignis überhaupt die Spaltennummer als ein Teil der Daten klassifiziert wird und zweitens, weil die Spaltennummer von Ereignis zu Ereignis eine andere ist. Im Normalbetrieb geben allerdings alle Chips pro Ereignis dieselbe (für die Helixversionen 2.2 und 3.0 separate) Spaltennummer weiter. Wie in Abschnitt 2.3.1 erwähnt ist der Jitter eine Fehlfunktion und ist auf eine schlechte Justierung der SampleClock zurückzuführen.

Um dieses Problem per Software zu lösen, wenn es einmal auftritt, gibt es nun zwei Möglichkeiten. Die erste ist, diese Kanäle am Beginn der Chips zu maskieren. In der Datenbank kann man einzelne tote oder heiße Kanäle als „schlecht“ markieren. Das ändert aber nichts daran, daß auch alle anderen gefundenen Pulse in den falsch erkannten Ereignissen um den Jitteroffset verschoben sind, die x-y-Information also nicht stimmt.

Die andere sehr viel bessere Variante, die aber noch nicht ausreichend getestet und optimiert ist, ist die, für jedes Ereignis von neuem den korrekten Beginn der Daten zu ermitteln. Dafür muß man den großen Sprung in der Spalteninformation ausnutzen, um diese Stelle zu finden.

**Datenkomprimierung.** Ursprünglich war vorgesehen, nach dem Finden der Cluster auch eine Komprimierung der Daten vorzunehmen, in dem Sinne, daß nicht mehr die Rohdaten weiterverteilt und gespeichert werden, sondern nur einige wichtige Pulsinformationen wie Schwerpunkt, Höhe und Breite. Das ist nur sinnvoll, wenn man sich in der Struktur, die den Cluster beschreibt, wirklich auf die nötigste Information beschränkt. Das ist derzeit nicht erfüllt, weil zum Testen des gesamten Programms möglichst viele Informationen weitergeleitet werden.

Eine Komprimierung ist dringend erforderlich und wird zur Zeit auf Level 2 in etwas anderer Form implementiert, da schon jetzt die Datenmenge vom Inneren Spurkammersystem pro Ereignis größer ist als die aller übrigen Detektorkomponenten.

Die beiden bis hier vorgestellten Pakete ITR_silraw und ITR_marvin werden auch in der Rekonstruktion verwendet.

### 3.5.3 itrrhp: Ausgabe der relevanten Informationen

Dieses Programmpaket dient ausschließlich dazu, Histogramme (oder andere Ausgaben) zu buchen, die Daten dafür zu sammeln und entweder zu übertragen oder in Dateien zu speichern.

Zur Zeit gibt es zwei Varianten. Die eine ist, die Histogramme mit dem vorhin erwähnten „rhp“ zu buchen, zu übertragen und mit dafür geeigneten Programmen zu empfangen. Das hat den Vorteil, daß sich jeder diese Daten ansehen kann, insbesondere auch die Schichtbesatzung. Es hat aber den großen Nachteil, daß es aufgrund der Kapazität des Netzes nur möglich ist, einen kleinen Teil der von uns definierten Histogramme zu übertragen. Außerdem verlangsamt diese Übertragung den Ablauf des gesamten Programms. Allein beispielsweise ein Occupancy-Histogramm pro Kammer bedeutet ja einen Eintrag für 768 Kanäle mal 184 Kammern! Die Programme, die die gesendeten Daten empfangen und darstellen sollen, lassen für unseren Gebrauch ebenfalls noch zu wenige Editiermöglichkeiten zu. Dazu gehört auch, daß die Informationen über einen Run nicht automatisch gespeichert werden. Das bedeutet, daß man noch einmal die Daten des gesamten Runs bearbeiten muß, wenn man später noch einmal Informationen darüber haben möchte. Für die wenigen Histogramme, die für die Schichbesatzung erzeugt werden sollen, ist dieses Verfahren aber geeignet. Es ist sogar notwendig, um die Histogramme von vielen Rechern aus empfangen und betrachten zu können.

Die andere Möglichkeit in der Testphase ist, sämtliche Daten als HBOOK-Dateien zu speichern. In dieser Form kann man automatisch für jeden Datennahme alle interessanten Histogramme speichern, so daß sie jederzeit für Experten zur Verfügung stehen.

Zur Zeit wird es folgendermaßen gehandhabt: der Großteil der Histogramme wird gespeichert. Diese kann man sich sofort oder einige Tage später anschauen, die Daten sollen nach einiger Zeit allerdings gelöscht werden. Einige wichtige Histogramme wie die Occupancy-Darstellungen jeder Kammer und ein Bunchspektrum aller Kammern zusammen werden über das Netz übertragen und können von überall aus empfangen werden, so lange die Datennahme andauert. In Abb. 3.12 ist das vorhin erwähnte Programm zum Empfangen der Daten mit einem empfangenen Pulsbreitenhistogramm gezeigt.

### 3.5.4 itrleda: Datenbankzugriff

Diese Bibliothek von Funktionen dient dazu, den Zugriff auf die Datenbank zu erleichtern und zu regeln. Daneben gibt es Funktionen, mit denen man die Datenbank aus Textdateien mit unserer Konfiguration füllen kann.

### 3.5.5 itrdmon: Rahmenprogramm

Dieses Programm bildet den Rahmen, in dem alle oben beschriebenen Funktionen aufgerufen werden. Im Initialisierungsaufruf werden alle Programmpakete einzeln initialisiert. Den Hauptteil bildet die „Ereignisschleife“. Bei jedem neuen Ereignis wird diese Schleife ausgeführt. Dabei werden dann jedesmal alle Analyseschritte, die für das Innere Spurkammersystem nötig sind, durchgeführt. Entsprechend dieses Prozesses sind alle Programmpakete aufgeteilt: in eine Initialisierungsroutine, eine Ereignisroutine und eine Endroutine, in der noch Informationen über den

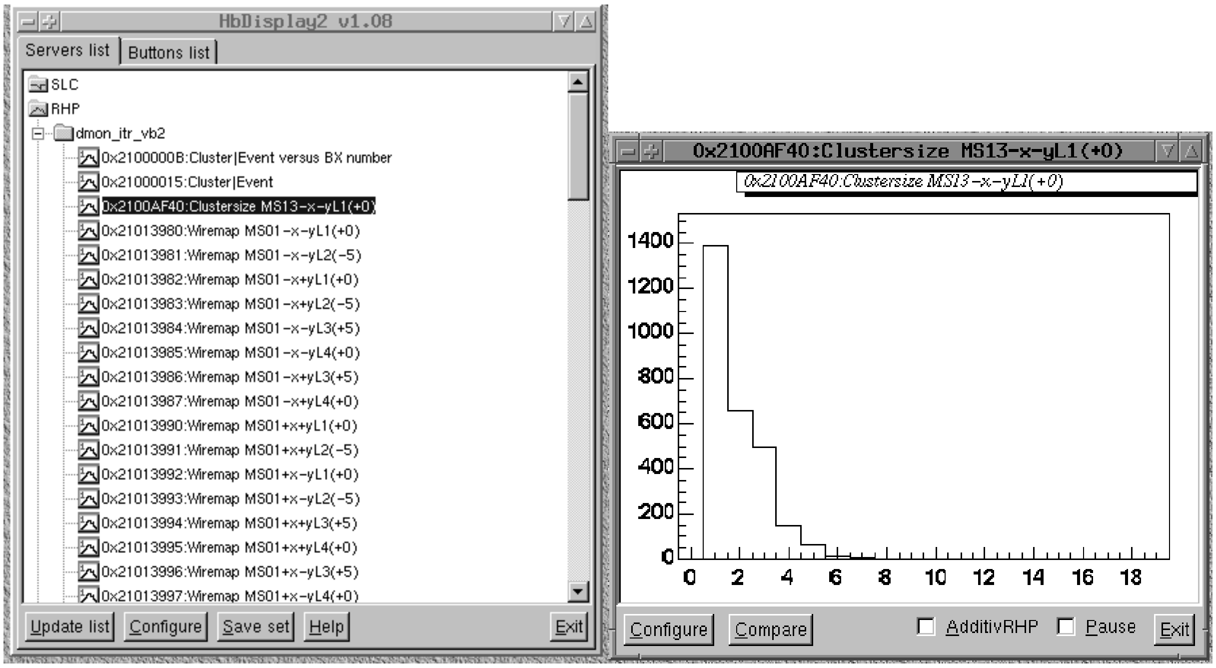



Abbildung 3.12: *Beispiel für die Übertragung der Histogramme mit „rhp“ und den Empfang eines Clusterbreitenhistogramms mit dem Programm HbDisplay2 [22].*

Programmablauf und die Daten gespeichert werden und in der die Programme korrekt beendet werden. Die Funktionen dieses Paketes sind im Anhang genauer beschrieben.

## 3.6 Definition der Histogramme

Hier wird kurz beschrieben, welche Histogramme zur Zeit definiert sind, wie sie gefüllt werden und wozu sie dienen.

- Clusterladung in ADC-Einheiten pro Kammer
  - Berechnung: $\sum_i (d_i - lokaleBaseline)$, mit i $\in$ Streifen im Puls und $d_i$ Streifenladung des $i$-ten Streifens.
  - Man erwartet eine Landauverteilung.
- Verhältnis Signal zu Rauschen pro Kammer
  - Berechnung:

$$\frac{S}{N} = \frac{\sum_i (d_i)}{\sqrt{\sum_i (\sigma_i^2)}},$$

    $i$ läuft über alle Streifen des Clusters. Dabei bedeuten $d_i$ die Streifenladung, $\sigma_i^2$ die mittlere quadratische Abweichung des $i$-ten Streifens.

- Occupancy (Wiremap) in Prozent pro Kammer
  - Berechnung: Für jeden Puls wird an seinem Schwerpunkt ein Eintrag gemacht und das Histogramm auf die Anzahl der Ereignisse normiert.
  - Diese Darstellung zeigt die Verteilung der Hits auf die Streifen des Wafers.
- Pulsbreite in Streifen pro Kammer
  - Berechnung: Die Pulsbreite ist die Zahl aller Streifen in einem Cluster über der Schwelle.
- maximale Pulshöhe in ADC Einheiten pro Kammer
  - Berechnung: Pro Kammer sind die maximalen Pulshöhen histogrammiert. Dabei werden die Pulshöhen von der lokalen Baseline aus berechnet.
- Anzahl der Pulse pro Ereignis pro Kammer
  - Berechnung: In dieses Histogramm wird die Anzahl der Cluster pro Ereignis eingetragen.
  - Eventuell muß man bei der Spurensuche hier noch eine Schwelle für die maximal erlaubte Anzahl von Clustern pro Ereignis setzen, um verrauschte Ereignisse völlig auszuschliessen.
- Rohdaten in ADC-Einheiten pro Kammer
  - Berechnung: Rohdaten vor Pedestal- und Baselinesubtraktion. Das Histogramm wird nach jedem Ereignis zurückgesetzt.
  - Wird nur in der Testphase verwendet.
- korrigierte Daten in ADC-Einheiten pro Kammer
  - Berechnung: Darstellung der korrigierten Daten nach Pedestal- und Baselinesubtraktion. Das Histogramm wird nach jedem Ereignis zurückgesetzt.
  - Wird nur in der Testphase verwendet.
- Pedestalwerte in ADC-Einheiten pro Kammer
  - Berechnung: Darstellung der Pedestalwerte. Das Histogramm wird nach jedem Ereignis zurückgesetzt.
  - Wird nur in der Testphase verwendet.
- Rauschen pro Kanal in ADC-Einheiten pro Kammer
  - Berechnung: In dem zweidimensionalen Histogramm wird pro Streifen einer Kammer und pro ADC-Wert der korrigierten Daten ein Eintrag gemacht.
  - Gibt einen Überblick über das Rauschen einzelner Kanäle. Wird online nicht gefüllt, aufgrund der recht großen Datenmengen verlangsamt das Füllen dieser Histogramme das Programm zu sehr.
- Bunchspektrum pro Kammer
  - Berechnung: Pro HERA-Bunch wird die Anzahl der Cluster pro Event in diesem Bunch aufgetragen.

  - Man sollte die Struktur erkennen, mit der HERA gefüllt wird. Dieses Histogramm dient in erster Linie dazu, die Synchronisation mit anderen Detektorkomponenten zu überprüfen. Am Beitrag der eigentlich nichtgefüllten Bunche kann man abschätzen, welcher Anteil der Pulse im nächsten Bunchcrossing noch ein Signal erzeugt und wie hoch der Coasting-Beam Beitrag ist.

- Rauschen eines Chips
  - Berechnung: Für jeden Helixchip werden die korrigierten Daten aller Kanäle bei ihrem jeweiligen ADC-Wert eingetragen. Dabei werden die Einträge von Pulsen miteingefüllt.
  - Diese Diagramme geben einen guten Überblick über das elektronische Rauschen der Chips.

- Höhe der Pipelinenummer in ADC-Einheiten pro Chip
  - Berechnung: Histogrammierung der maximalen Pulshöhenunterschiede der acht Bits der Spaltennummer.
  - Dient zur Abschätzung der elektronischen Verstärkung und des Rauschens in der Auslesekette.

## 3.7 Ausblick

Die im Rahmen dieser Arbeit fertiggestellte Überwachungssoftware wurde bei der Inbetriebnahme des Detektors bei HERA-$B$ mit Erfolg benutzt und bietet eine solide Basis aller Grundfunktionen. Allerdings sind noch einige Verbesserungen notwendig, die im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr implementiert werden konnten.

Bis jetzt wurde das gesamte Innere Spurkammersystem nur von Experten betrieben, ebenso die Datenüberwachung. Bis Dezember 1999 war noch nicht der gesamte Detektor installiert, und dennoch war die Datenmenge schon in etwa so groß wie die aller anderen betriebenen Subdetektoren zusammen. Das zeigt, daß unbedingt eine Komprimierung der Daten stattfinden muß. Die erste kurzfristige Lösung besteht darin, lange Folgen von „Nullen“ zusammenzufassen. Diese Lösung wird zur Zeit implementiert. Das sollte eine Kompression auf etwa 30 % ermöglichen [33]. Auf längere Sicht wird man wohl nur noch die wichtigen Informationen eines Pulses speichern und nicht mehr alle Rohdaten.

Ein anderer wichtiger Schritt wird folgen müssen, denn das Programm muß wieder schneller werden. In Folge der Entwicklungsarbeit wurden einige Funktionen hinzugefügt, die nicht auf ihre Ausführungsgeschwindigkeit hin optimiert wurden.

Viele andere Änderungen werden sich im Rahmen einer weitergehenden Analyse ergeben, dazu werden wohl viele Schnitte gehören, die bis jetzt nur global möglich sind, die aber für einzelne Superlagen oder sogar Kammern spezifiziert werden müssen.

Ebenfalls noch implementiert werden muß ein System, um automatisch bei Fehlern in der Auslese einen Alarm für die Schichtbesatzung zu erzeugen. In dem neuen Datenqualitäts- und Monitoringschema von HERA-$B$ ist ein Vergleich von aktuellen und gespeicherten Referenzhistogrammen oder Werten vorgesehen. Allerdings muß das Innere Spurkammersystem erst noch in dieses System integriert werden und sowohl geeignete Referenzhistogramme als auch geeignete Kenngrößen definieren.

# Kapitel 4

# Betriebsverhalten des Detektors bei HERA-*B*

Im folgenden Teil der Arbeit wird eine mit dem Monitoringprogramm durchgeführte Analyse von Daten, die im Laufe des Novembers und Dezembers 1999 bei HERA-*B* registriert wurden, präsentiert. In diesem Fall wurde offline auf die gespeicherten Daten zugegriffen, um die Kammerperformance zu untersuchen. In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die Ausleseelektronik korrekt eingestellt wurde und was man mit den Programmen des Monitorings über das Verhalten der Kammern und des ganzen Systems lernen kann.

## 4.1 Einstellung des Timings

In diesem Kapitel wird die korrekte Einstellung des Timings in einem *Delayscan* beschrieben.

### 4.1.1 Beschreibung des Delayscans

Nach dem Einbau eines neuen Kammerpakets und der Inbetriebnahme des Auslesesystems muß der Samplezeitpunkt korrekt eingestellt werden, um möglichst gute Signale zu erhalten. Der Samplezeitpunkt ist der Zeitpunkt, zu dem der Helixchip die gerade anliegende Ladung zum Zwischenspeichern in die Pipeline schreibt.

Diese Einstellung ist nötig, weil der Helixchip nicht von sich aus zu dem Zeitpunkt abtastet, an dem das Signal sein Maximum hat. Vielmehr schreibt der Chip den gerade anliegenden Wert des geformten Pulses in die Pipeline, wenn von außen eine steigende Flanke der SampleClock anliegt. Diese Flanke sollte deshalb in dem Moment anliegen, wenn die Antwort des Chips auf einen Kammerpuls ihr Maximum hat. Das Maximum ist proportional zur Pulsladung auf der Anode. Die SampleClock wird als BxClk mit einer Periodendauer von 96 ns synchron zur HERA-Clock vom schnellen Kontrollsystem geliefert. Es gibt in der Ausleseelektronik die Möglichkeit, dieses Signal zu verzögern, das bedeutet, die Zeitdifferenz zwischen Teilchendurchgang und Samplezeitpunkt einzustellen, so daß der Chip genau im richtigen Moment das Signal in die Pipeline schreibt. Das Signal kann dann nach einer positiven Entscheidung des First Level Triggers ausgelesen werden.

In Abbildung 4.1 ist die Pulsform des Helixchips (Antwort auf einen $\delta$-Puls) für ein kurzes Shaping ($V_{fs} = 2$ V und $I_{pre} = 600$ $\mu$A) dargestellt. Der hier abgebildete Puls ist früh wieder auf Null gefallen. Mögliche Samplezeitpunkte werden durch die Pfeile angedeutet. Zeitpunkt 2 stellt den optimalen Samplezeitpunkt dar, während man zu Zeitpunkt 4 allein 2/3 des Signals aufgrund des schlecht eingestellten Samplezeitpunktes verlieren würde.

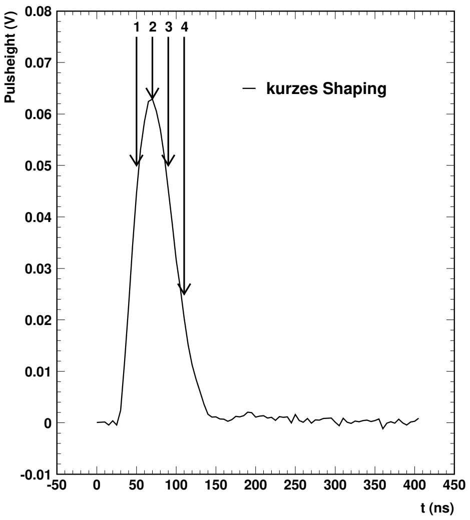



Abbildung 4.1: *Beispielhaft eine Pulsform des Helix für $V_{fs} = 2V$, $I_{pre} = 600\mu A$, das „schnelle“ oder „kurze“ Shaping [34]. Die Pfeile deuten mögliche Samplezeitpunkte an. Zeitpunkt 2 ist optimal, bei Zeitpunkt 4 verliert man 2/3 des Signals allein aufgrund des schlecht eingestellten Samplezeitpunkts.*

Die korrekte Einstellung hängt von Laufzeiten der Signale durch Kabel und optische Fasern sowie von Verzögerungen in den elektronischen Komponenten ab. Um sie zu bestimmen und die SampleClock richtig einzustellen, muß man entweder alle diese Verzögerungen elektronisch messen, oder man kann anhand der Daten den besten Samplezeitpunkt herausfinden. Im *Delayscan* wird die SampleClock systematisch in Schritten von 10 ns verstellt. Bei jeder Einstellung werden etwa 10000 Ereignisse aufgezeichnet, um anhand dieser Daten den besten Samplezeitpunkt bestimmen zu können. Nach Durchführung des Delayscans kann der Samplezeitpunkt bestmöglich eingestellt werden und soll dann nicht mehr verändert werden.

### 4.1.2 Durchführung

Das gemessene Pulshöhenspektrum hängt vom Samplezeitpunkt ab und kann daher verwendet werden, um die beste Einstellung zu finden. In Abbildung 4.2 wird ein Spektrum der gemessenen maximalen Streifenladung jedes Clusters bei einer Schwelle von 4 ADC-Einheiten gezeigt. In dieses Histogramm wurden alle gefundenen Pulse eingetragen, die über der Schwelle lagen. Das steil abfallende Spektrum weist nicht das erwartete Maximum einer Landauverteilung auf. Gründe dafür werden in Kapitel 4.4 erläutert.

Man erwartet, die in Abb. 4.1 gezeigte Form der Helixantwort auch in den gemessenen mittleren Streifenladungen bei Verschieben des Samplezeitpunktes wiederzufinden. Um das zu untersuchen, wurde in Abbildung 4.3 der Mittelwert aus den Verteilungen der maximalen Streifenladungen für verschiedene Samplezeitpunkte aufgetragen: in der linken Bildhälfte für einige Kammern der Halbstation MS13-, in der rechten Bildhälfte für einige Kammern aus dem Magneten. Betrachtet man nun die gemessenen Pulshöhenspektren 4.3 in Abhängigkeit vom Samplezeitpunkt, so erkennt man, daß der Effekt in der Variation sehr viel geringer ist, als man es nach der Pulsform des Helixchips erwarten würde. Dabei muß man aber berücksichtigen, daß die Pulshöhenspektren bei kleinen Werten überhöht sind, da alle gefundenen Pulse über der Schwelle betrachtet werden. Das bedeutet, daß sehr viele kleine schmale Pulse mitberücksichtigt

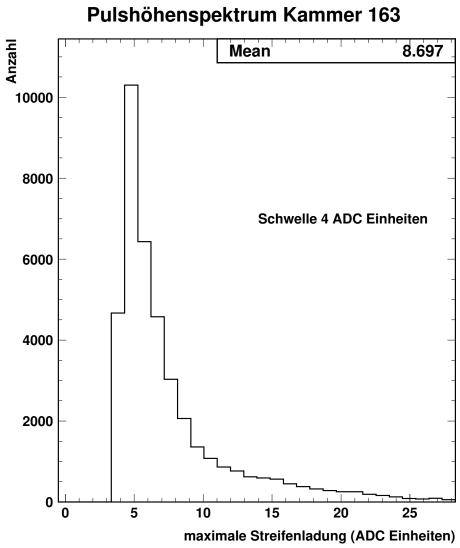



Abbildung 4.2: *Ein Pulshöhenspektrum der maximalen Streifenladungen bei einer Schwelle von 4 ADC-Einheiten. In dieser Verteilung ist kein deutlicher Höchstwert zu sehen, da alle Pulse über der Schwelle eingetragen wurden. Bei Erhöhen der Schwelle schneidet man mehr vom Rauschen ab, aber erst das Berücksichtigen nur von Pulsen, die zu Spuren beitragen, unterdrückt die vielen kleinen Rauschpulse wirkungsvoll.*

werden, die Rauschpulse oder Pulse aus heißen Kanälen sind oder die nicht von den gesuchten Teilchen herrühren, sondern beispielsweise aus Schauern. Besser wäre es, die Pulshöhenspektren nur der Cluster aus Spuren zu histogrammieren. Die Spurinformation steht allerdings auf dieser Stufe in der Analysekette noch nicht zur Verfügung. Dennoch kann man aus den Auftragungen entnehmen, daß die beste Einstellung der Verzögerung für die Kammern im Magneten bei etwa 50 ns liegt, für die Halbstation MS13- um 80 ns.

Abgesehen von der Form des Pulshöhenspektrums gibt es noch andere Gründe für die geringe Variation der Pulshöhe in Abhängigkeit von der Verzögerung.

Bei diesem Delayscan waren die Parametereinstellungen des Helixchips so gewählt, daß der Puls erst spät wieder auf Null abfällt, so daß zwei aufeinanderfolgende Pulse nicht sehr gut voneinander getrennt sind. Durch die recht lange Helixantwort gibt es eine große Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Puls noch im nächsten Bunch wiedergefunden wird. Dies trägt dazu bei, daß die „Delaykurve“ so flach verläuft. Die Wahrscheinlichkeit, einen Puls aus einem Bunchcrossing auch noch im nächsten Bunchcrossing als Puls zu erkennen, beträgt etwa 25% [35, 36] bei dem langen Shaping. Diese Pulse werden im weiteren als „Nachpulse“ bezeichnet. Entsprechend viele Pulse findet man unabhängig vom gewählten Samplezeitpunkt als „Untergrund“. Die Form der Antwort kann allerdings wegen der großen Kapazität (etwa 30 pF) der Kammer am Eingang nicht beliebig kurz gemacht werden. Wichtig dabei ist, daß bei der Datennahme des vergangenen Jahres „zufällig“ getriggert wurde, das bedeutet, bei der Auswahl der Ereignisse werden noch keine Vorentscheidungen durch einen Triggeralgorithmus getroffen. Genau das ist bei einer späteren Datennahme zur Selektion interessanter Zerfälle natürlich geplant. Die Pulse aus einem Bunch vorher zeigen sich neben Rauschpulsen in den Pulshöhenspektren, Ladungsverteilungen und Clusterbreitenverteilungen als Überhöhung bei kleinen Werten. Deshalb kann man in den Ladungverteilungen kein Landaumaximum erkennen. Wie man in der Offline-Analyse sieht, zeigt sich das Maximum der Landauverteilung erst dann, wenn nur die Cluster berücksichtigt wer-

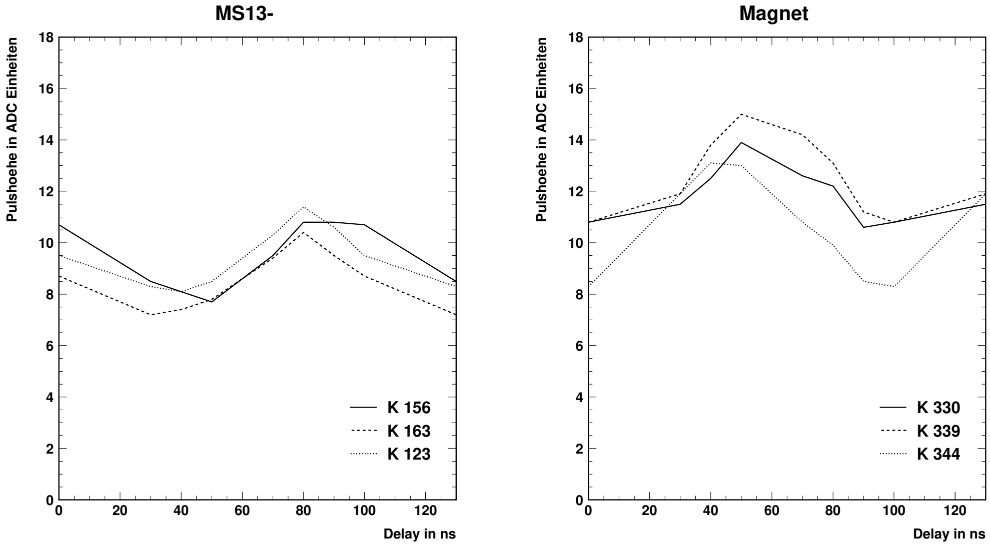



Abbildung 4.3: *Die mittleren Streifenladungen einiger Kammern der MS13- und zum Vergleich einiger Kammern im Magneten in Abhängigkeit vom Delay bei „kurzem“ Helixshaping. Dabei würde man für die MS13- eine Verzögerung des Signals um etwa 80 ns wählen und im Magneten um die 50 ns.*

den, die zu Spuren durch den Detektor beitragen [37] oder bei höherer Gasverstärkung in den Kammern.

## 4.2 Untersuchung der Synchronisation

Nach der internen Einstellung des Samplezeitpunkts der Auslese der Inneren Spurkammern relativ zur HERA-Clock muß sichergestellt werden, daß die Auslese mit der anderer Subdetektoren synchron ist. Wenn in der Analyse einzelne Spuren, Energiemessungen und Teilchenidentifikationen zu einem Ereignis zusammengefaßt werden, müssen diese Messungen natürlich zur gleichen Protonen-Target-Wechselwirkung gehören.

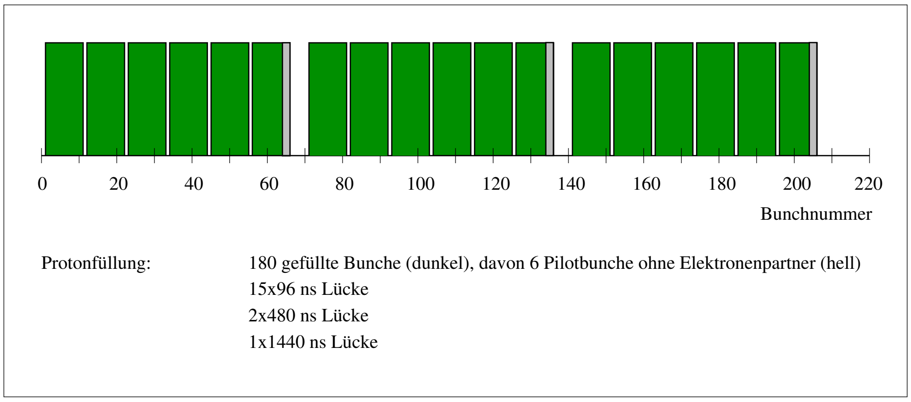



Abbildung 4.4: *Das Füllschema der Protonen von HERA. Von insgesamt 220 möglichen Plätzen für Protonenbündel sind 180 gefüllt. Die Aufteilung kommt durch die Art der Einfüllung zustande. Man erkennt drei große PETRA-Züge mit jeweils sechs DESY-III Füllungen bestehend aus je zehn Bündeln [38] .*

Aufgrund der besonderen Füllweise des HERA Protonenstrahls (vgl. Abb. 4.4) sind nicht alle möglichen Plätze für Protonen im Strahl gefüllt. In dem Füllschema der Protonen kann man zwei Lücken mit einer Breite von fünf Bunchen zwischen den PETRA-Zügen erkennen, eine sehr breite Lücke von 15 Bunchen, die zum sicheren Dumpen des Strahls dient, und 15 nur einen Bunch breite Lücken. Insgesamt sind also nur 180 der 220 möglichen Plätze im Strahl mit Protonen gefüllt.

Jede Komponente des Detektors sollte nun in ihren Signalen dieses Schema wiederfinden können, anhand dessen die Synchronisation überprüft wird. Idealerweise findet in den nichtgefüllten Bunchen erstens keine Wechselwirkung statt, und zweitens finden die einzelnen Detektoren in diesen Bunchen auch kein Signal. Die Auslese ist synchronisiert, wenn alle Komponenten die Lücken an den gleichen Stellen sehen. Dazu kann man mit dem schnellen Kontrollsystem die Triggersignale einzelner Komponenten um die Zeiten ganzer Bunchcrossings gegeneinander verschieben. In Abbildung 4.5 ist das Verschieben der Auslese des ITRs um einen Bunch zu erkennen. Ohne Verschiebung lag zu dieser Datennahme der Beginn der 15 Bunche breiten Lücke bei der Bunchnummer 186. Zum Testen wurde in je einem Run der Auslesezeitpunkt einmal um einen Bunch nach vorne und hinten geschoben, was ausgezeichnet funktioniert hat.

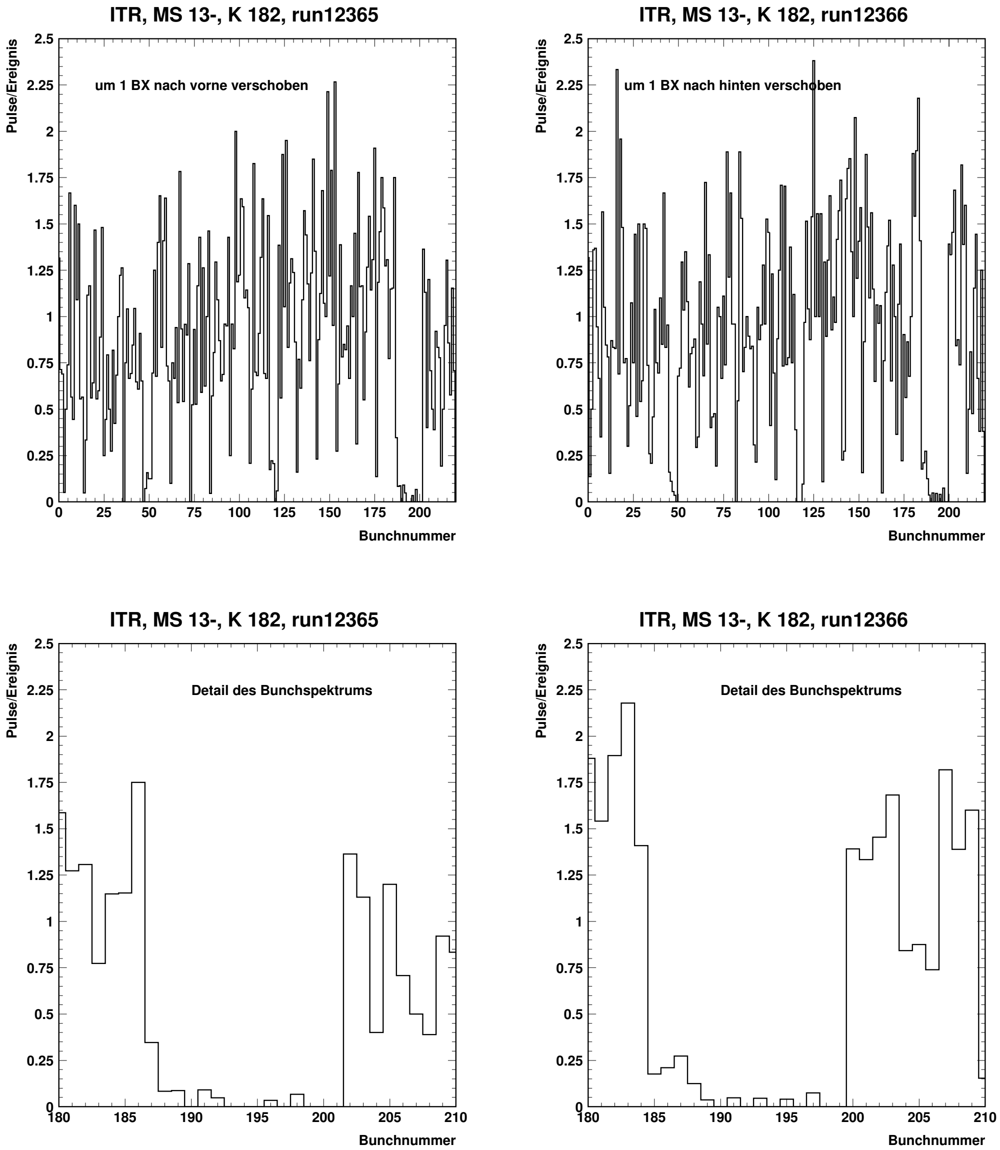



Abbildung 4.5: *Bunchspektren der Kammer K182 bei kurzem Shaping und einer Schwelle von 5,5 ADC Einheiten: Vom Standardwert aus sind die beiden Bunchspektren je um einen Bunch nach früher oder später geschoben worden. In der unteren Bildhälfte ist jeweils ein Detailanblick der großen Lücke zum genaueren Vergleich zu sehen.*

Wie man in der Abbildung 4.6 erkennen kann, ist das Innere Spurkammersystem mit dem Vertex Detektor synchron [49], denn die Lücken liegen an den gleichen Stellen. Die unterschiedliche vertikale Skala kommt zustande, weil der Vertexdetektor in einem Bunchpektrum alle seine Siliziumzähler zusammenfaßt, beim Inneren Spurkammersystem hingegen das Spektrum für jede Kammer einzeln berechnet wird.

Anhand der Bunchspektren kann nun nicht nur die Synchronisation überprüft werden, sondern es können auch Informationen über die Verteilung der Protonen auf die Pakete gewonnen werden. So zeigt sich in den Bunchspektren vom Vertexdetektor und von den Inneren Spurkammern bei dieser Datennahme ein Anstieg der Anzahl der Pulse pro Ereignis vom ersten gefüllten Bunch an. Solch einen Anstieg sehen alle Komponenten des Detektors, das zeigt also, daß die Protonenpakete nicht gleichmäßig gefüllt sind oder nicht die gleiche Ausdehnung haben, so daß sie nicht in gleichem Ausmaß zu den Wechselwirkungen beitragen. Außer diesem Anstieg ist zu erkennen, daß die Pakete auch sonst sehr ungleichmäßig gefüllt sind.

Nach dem Füllschema von HERA erwartet man, daß die kleinen, einen Bunch breiten Lücken genauso wie die größeren vollständig leer sind. Offensichtlich ist dies nicht der Fall. Dafür gibt es zwei Ursachen. Zum einen ist der Strahl nicht so perfekt aufgeteilt wie gerade erklärt. Es gibt einen von Füllung zu Füllung unterschiedlich hohen Anteil von Protonen, die sich nicht innerhalb der Pakete befinden und die mit dem Target zwischen den durch die Pakete bestimmten Zeitpunkten wechselwirken. Wie stark deren Einfluß ist, hängt zusätzlich vom verwendeten Targetdraht ab, so ist es für einen äußeren Draht wesentlich stärker. Dieses Phänomen nennt sich „coasting beam“ [39]. Die Protonen außerhalb der Pakete haben eine geringere Energie als die Protonen in den Paketen, so daß sie sich an der Position des HERA-$B$-Targets etwas weiter außen im Strahl befinden. Die zusätzlichen Wechselwirkungen sind in den Bunchspektren als Untergrund auch in den breiten Lücken sichtbar.

Der zweite Effekt, der zu den unsauberen Bunchspektren beiträgt, liegt bei den Inneren Spurkammern selbst. Wie oben schon erwähnt, beträgt die Wahrscheinlichkeit, einen Puls auch im darauffolgenden Taktzyklus zu sehen, bei langem Helixshaping etwa 25%. Demzufolge muß zwar in den fünf oder fünfzehn Taktzyklen breiten Lücken die Anzahl der gefundenen Pulse pro Ereignis auf Null zurückgehen. Die schmalen Lücken aber sind bis zu einem Viertel gefüllt. Dieses Verhalten läßt sich in den Bunchspektren tatsächlich beobachten. Dies ist der Anteil, der nur in den schmalen Lücken zu beobachten ist, nicht aber in den breiten.

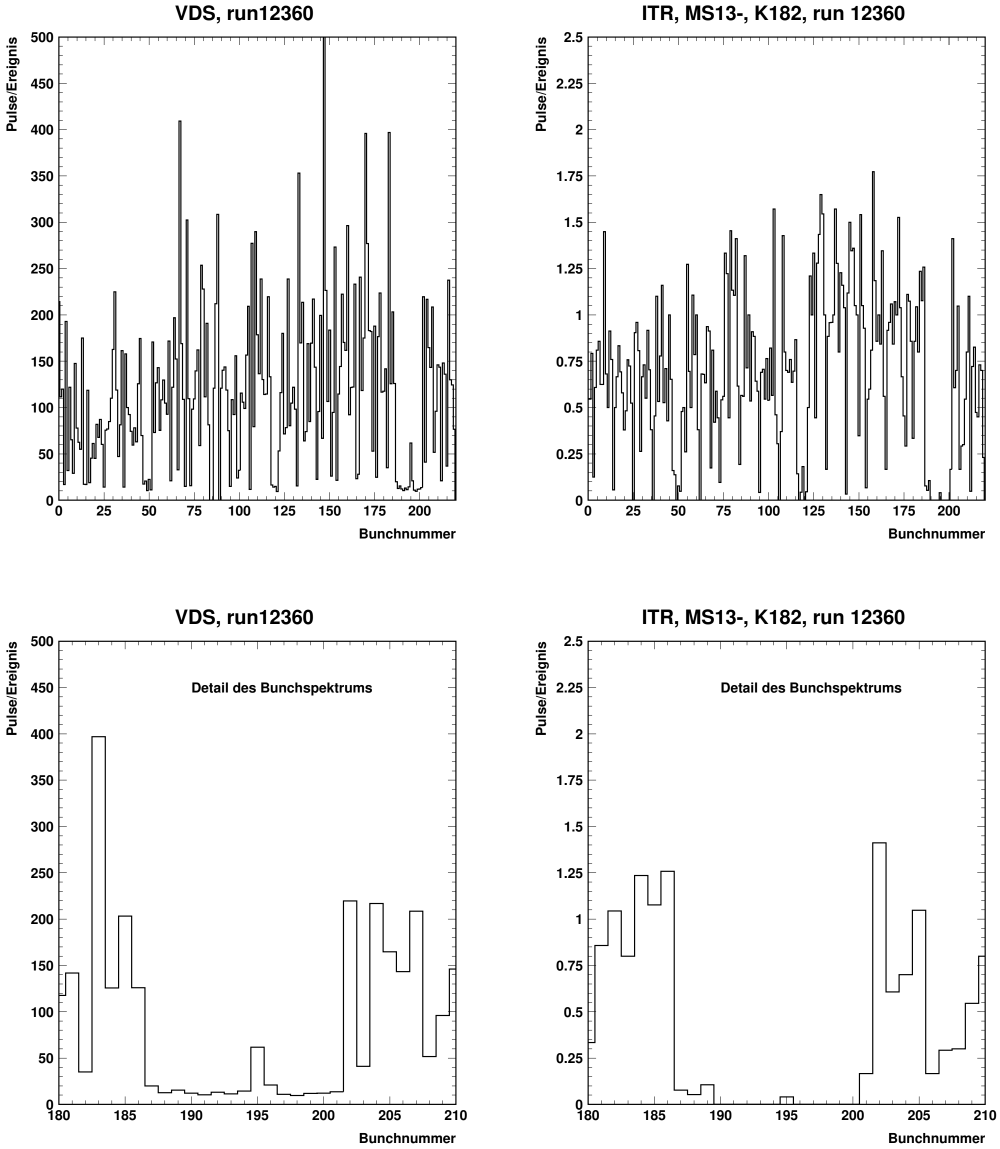



Abbildung 4.6: *Bunchspektren des Vertexdetektors (links) [42] und des Inneren Spurkammersystems (rechts) zum Vergleich. Die beiden Detektoren werden synchron ausgelesen.*

## 4.3 Untersuchung des Rauschens und Einstellung der Schwellen

Der nächste Schritt nach der korrekten Einstellung des Timings ist die Untersuchung des Rauschens. Es ist wichtig zu wissen, wieviel elektronisches Rauschen die Verstärkerkette liefert, wie das Rauschen der einzelnen Chips untereinander schwankt, welchen Einfluß die Parametereinstellungen des Helix haben, welche Schwankungen zwischen einzelnen Kanälen auftreten, wie die Baseline mit der Zeit schwankt und welche Schwelle eingestellt werden muß, um bei der Pulssuche echte Pulse vom Rauschen effektiv zu trennen.

Vom Monitoring werden für diese Untersuchung folgende Histogramme bereitgestellt:

- Pedestalwerte pro Kammer: die berechneten Pedestalwerte werden in einem Histogramm dargestellt.
- Rauschen pro Kanal einer Kammer: In dieses Histogramm wird der Wert der korrigierten Rohdaten für jeden Kanal bei jedem Ereignis eingetragen. Pulse werden mithistogrammiert. Hier können tote Chips, tote Kathodengruppen und heiße Kanäle erkannt werden.
- Rauschen pro Chip: Die Werte aus dem obigen Histogramm für jeden Kanal werden auf eine Achse projiziert. Diese Auftragung liefert schnell Informationen über das Rauschverhalten von jedem Chip (s. Abb. 4.10).
- Das Verhältnis von Signal zu Rauschen.
- Höhe der Spaltennummer: die maximale Differenz der Höhe der acht Pipelinenummerbits pro Chip wird histogrammiert als ein Indiz für die Verstärkung der Auslesekette.
- Baseline- und Pedestalschwankungen anhand der Rohdaten und der korrigierten Daten pro Kammer

### 4.3.1 Schwankungen der Kanal-zu-Kanal-Variationen

In diesem Abschnitt wird kurz die Pedestalvariation beschrieben. Von den digitalisierten Rohdaten wird im Programm ITR_marvin vor der Baselinekorrektur die mittlere Ladung pro Kanal in ADC-Einheiten bestimmt und subtrahiert. Normal sind Werte zwischen 60 und 150 ADC-Einheiten. Man erwartet nur wenig zeitliche Schwankungen, so daß die Pedestalwerte jedes Auslesekanals für die nächste Datennahme in der Datenbank gespeichert werden können. Diese Korrektur eliminiert die zeitlich konstanten Kanal-zu-Kanal-Variationen und schiebt die Baseline im Mittel auf Null.

In Abb. 4.7 sind von Kammer 57 aus der Halbstation MS13- die Differenzen der Pedestals aus je zwei Runs dargestellt. Im linken Teil der Abbildung werden die Pedestals von zwei dicht aufeinanderfolgenden Datennahmen miteinander verglichen. Die Daten der Runs 12354 und 12360 wurden bei etwa 10 MHz Targetrate am 15.12.1999 genommen, die von Run 12098 am 7.12.1999 bei 5 MHz Targetrate. Man kann erkennen, daß die Pedestals über den größeren Zeitraum mehr variieren als bei den kurz nacheinander genommenen Daten. Subtrahiert man kammerweise die Pedestals der Runs 12354 und 12360, so liegt der Mittelwert der Differenz bei bis zu 3 ADC-Einheiten für einzelne Kammern. Die Verteilung um den jeweiligen Mittelwert ist recht schmal mit einer mittleren quadratischen Abweichung kleiner als 1 ADC-Einheit. Die Pedestals verschieben sich also von Run zu Run um wenige ADC-Einheiten parallel. Dies wird danach noch durch die Baselinesubtraktion korrigiert. Betrachtet man hingegen die Differenzen der Pedestals der Runs 12098 und 12354, so haben sich die Werte auch innerhalb einer Kammer untereinander verschoben. Die mittlere quadratische Abweichung für die Differenzen in einzelnen Kammern liegt bei etwa 6 ADC-Einheiten. Eine ADC-Einheit entspricht etwa 2500 Elektronen.

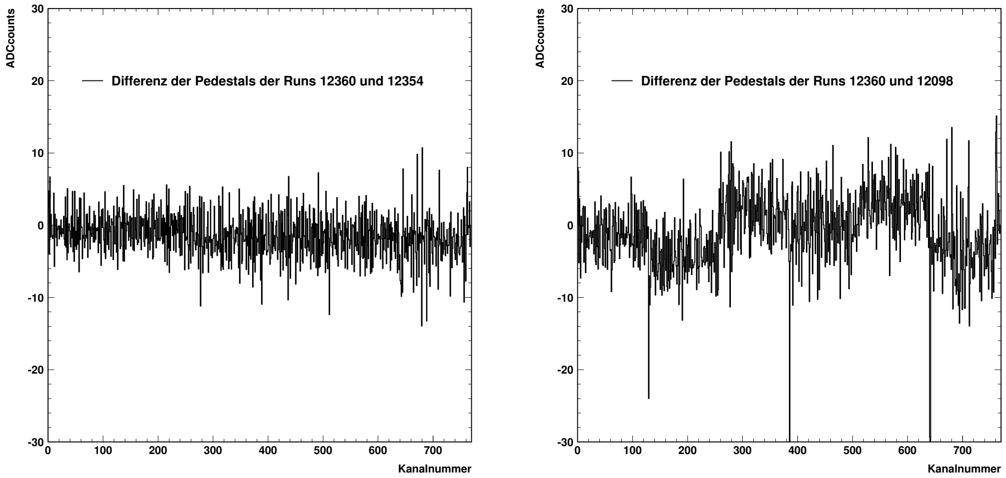



Abbildung 4.7: *Die Differenzen der Pedestals der Kammer 57 (MS13-): links für die Runs 12354 und 12360 (beide vom 15.12.99), rechts für die Runs 12098 (vom 7.12.99) und 12360 (genommen am 15.12.99).*

Daraus läßt sich schließen, daß die bei einer früheren Datennahme bestimmten Pedestals aus der Datenbank einen Anhaltspunkt für die Korrektur bieten. Sie müssen aber, wie im Programm auch vorgesehen, regelmäßig aktualisiert werden.

**Baselineschwankungen.** Bei den ersten eingebauten Kammern hat die Pedestalkorrektur gut funktioniert. Nach Einbau der Kammern im Magneten trat ein Problem auf: die Baseline dieser Kammern schwankt von einem Ereignis zum nächsten um bis zu 600 mV (150 ADC-Einheiten), so daß die Pedestalkorrektur versagt. Ein schönes Beispiel dafür ist Abbildung 4.8, in der besonders der erste Chip der Kammer Schwierigkeiten bereitet. Ebenfalls typisch für dieses Springen ist, daß die ersten Kanäle eines Chips stärker schwanken. Dies ist gut sichtbar in den Daten des ersten und des dritten Chips dieser Kammer.

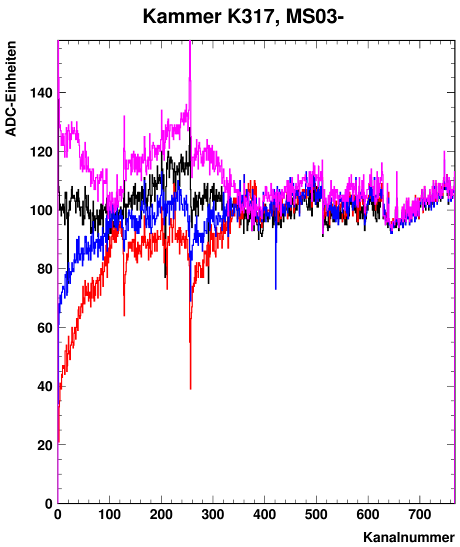



Abbildung 4.8: *Ein „schönes“ Beispiel für das Baselinespringen in einer Kammer im Magneten. Die Rohdaten mehrerer aufeinanderfolgender Ereignisse wurden übereinandergelegt.*

Solange die Ursache für das Baselinespringen nicht gefunden und behoben ist, muß für diese Kammern zuerst eine Baselinekorrektur durchgeführt werden, die solch einen sich ändernden Offset pro Ereignis ausgleicht. Erst danach kann eine kanalabhängige Korrektur der Werte sinnvoll angewandt werden. Diese Funktionalität ist im Programm vorhanden, allerdings noch nicht ausreichend getestet.

### 4.3.2 Verstärkung der Auslesekette

Abbildung 4.9 zeigt Histogramme, in denen für jeden Kanal einer Kammer die Ladungen in ADC-Einheiten nach der Pedestal- und nach der Baselinesubtraktion histogrammiert wurden. Da nur wenige Kanäle pro Ereignis ein Signal zeigen, stellt das im wesentlichen ein Rauschspektrum für jeden Kanal dar. Beide Histogramme zeigen Kammern der Halbstation MS13-. Die Daten wurden genommen mit dem kurzen Helixshaping bei einer Rate von etwa 10 MHz. Man erkennt in der linken Abbildung einen defekten Chip, von dem überhaupt keine Daten kommen. Alle Abbildungen zeigen einige heiße Kanäle. Es fällt auf, daß das Rauschen nicht nur vom Chip, sondern vor allem vom PCB abhängt, das heißt, jeweils die beiden Chips auf einem PCB zeigen etwa gleiche Spektren. Dies deutet darauf hin, daß in der Auslesekette Unterschiede in der Verstärkung auftreten, denn immer die zwei nebeneinanderliegenden Chips auf einem PCB werden gemeinsam ausgelesen.

In Abbildung 4.10 sieht man die Rauschverteilung für einen Chip der Kammer K166 aus der Halbstation MS13-. In dieses Histogramm wurden alle ADC-Werte der pedestal- und baselinesubtrahierten Pulshöhen eines Chips gefüllt. Auch hier stellt, da es nur wenige Pulse pro Ereignis gibt und diese außerdem hauptächlich bei höheren Werten in den Schwänzen der Verteilung liegen, dieses Histogramm im wesentlichen eine Rauschverteilung dar. Diese Rauschverteilungen werden für jeden Chip erstellt, die mittleren quadratischen Abweichungen („RMS") dieser Verteilungen dienen im folgenden als Maß für die Höhe des Rauschens der einzelnen Chips.

Bestärkt wird die Vermutung des PCB-abhängigen Rauschens durch die Abbildung 4.11. Aufgetragen sind in der linken Bildhälfte für alle Chips der Halbstation MS13- die mittleren quadratischen Abweichungen der Rauschverteilungen bei kurzem Helixshaping. Oben sind die Werte als Histogramm dargestellt, unten pro Chips. Der Chip mit RMS=0 ist der nicht ausgelesene, den man auch in Abb.4.9 erkennt. Zu erkennen ist allgemein eine recht breite Streuung des Rauschens. Beim gleichen Run, der gleichen Targetrate liegt die quadratische Abweichung der Rauschverteilungen zwischen 0,9 und 1,8 ADC Einheiten, wobei einige wenige Chips noch größeres Rauschen aufweisen.

In der Abbildung 4.11 liegen die zwei Chips auf einem PCB immer nebeneinander. Man findet in dieser Auftragung der quadratischen Abweichung pro Chip, daß häufig zwei Chips auf einem PCB ein ähnlich hohes Rauschen haben. Es besteht also die Vermutung, daß zusätzlich zu den Unterschieden der Chips auch Unterschiede in der Auslesekette bestehen. Um das zu testen, wurde die „Höhe der Spalteninformation" benutzt. Mit „Höhe der Spalteninformation" wird in diesem Zusammenhang die maximale Differenz in ADC-Einheiten der acht Bits der Spalteninformation bezeichnet, die die Werte 0 und 1 kodieren. Dieser Wert sollte von Chip zu Chip um höchstens 20% schwanken [40]. Anhand Abb. 4.12 sieht man, daß die Höhe der Spalteninformation zwar von den Chips eines PCBs zu denen auf einem anderen PCB schwankt, aber kaum für einen Chip in verschiedenen Runs. Deshalb kann diese Information genutzt werden, um die Daten auf gleiche mittlere Verstärkung zu korrigieren.

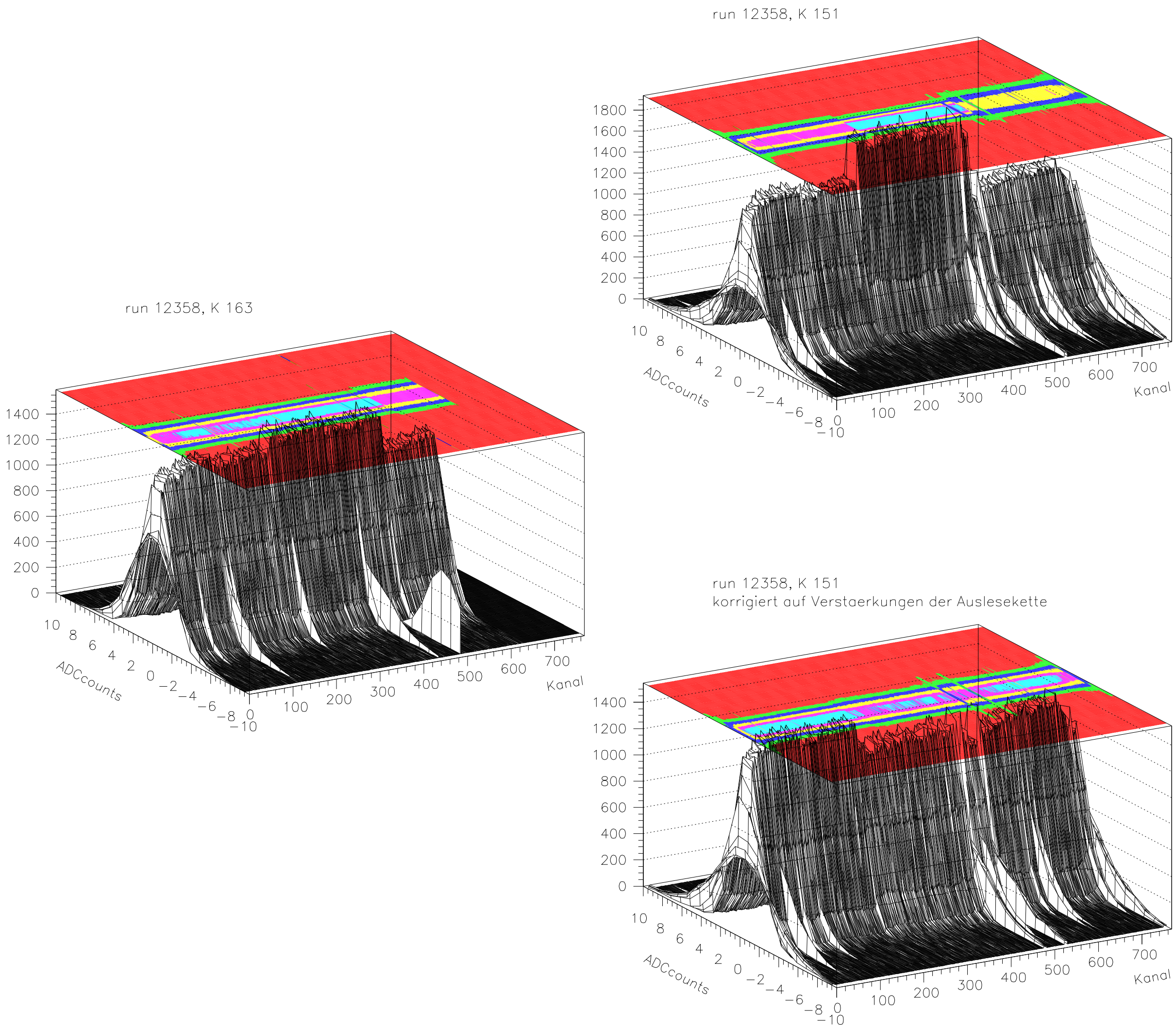



Abbildung 4.9: *Rauschen pro Kanal zweier verschiedener Kammern. Bei der linken Kammer (K163) erkennt man einen ausgefallenen Chip. Auf der rechten Seite ist die Kammer K151 dargestellt, in der oberen Hälfte ohne die Korrektur auf unterschiedliche Verstärkung in der Auslesekette, unten nach dieser Korrektur. Man kann einige heiße Kanäle erkennen und sehen, daß das Rauschen PCB-weise schwankt. Nach der Korrektur unterscheidet sich das Rauschen weniger von Chip zu Chip.*

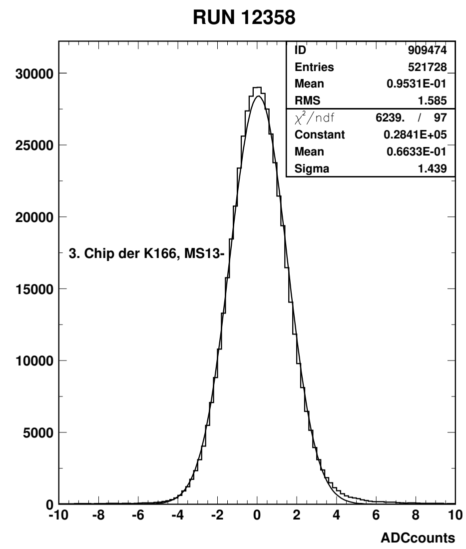



Abbildung 4.10: *Beispiel für das Rauschen eines Chips der Halbstation MS13-. Dazu ein Fit einer Gaußfunktion.*

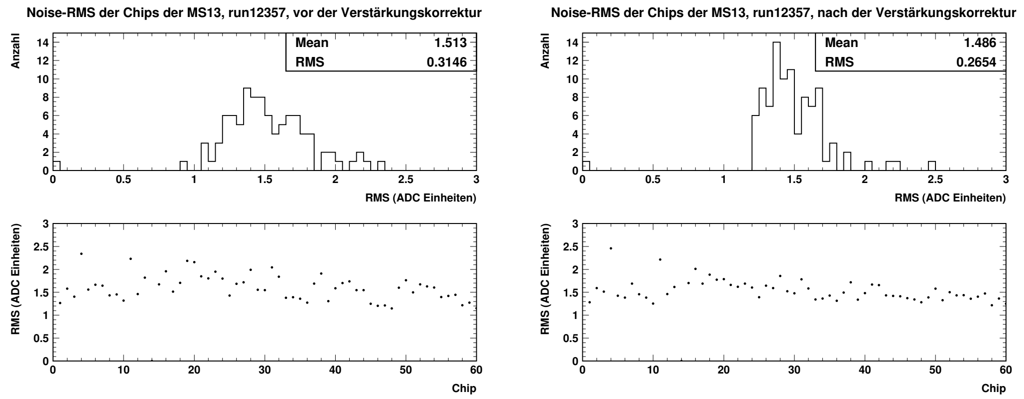



Abbildung 4.11: *Rauschen der Chips der Halbstation MS13- links vor und rechts nach der Verstärkungskorrektur.*

Anhand der Information über die Höhe der Spaltennummer wird in dem Programm ITR_marvin eine zusätzliche Korrektur der Detektordaten durchgeführt [41]. Nach der Pedestal- und Baselinesubtraktion werden für jeden Chip alle Daten mit einem Faktor $\frac{1}{n}\frac{\sum h_i}{h_i}$ multipliziert. Dabei ist $h_i$ die maximale Höhe in ADC-Einheiten der Bits der kodierten Spaltennummer des i-ten Chips. Wie im rechten Teil der Abb.4.11 ersichtlich ist, streut das Rauschen der Chips untereinander nach der Korrektur weniger. Diese Verbesserung erkennt man auch in dem rechten unteren Bild der Abbildung 4.9. Die Korrektur wird im Programm mittlerweile standardmäßig durchgeführt.

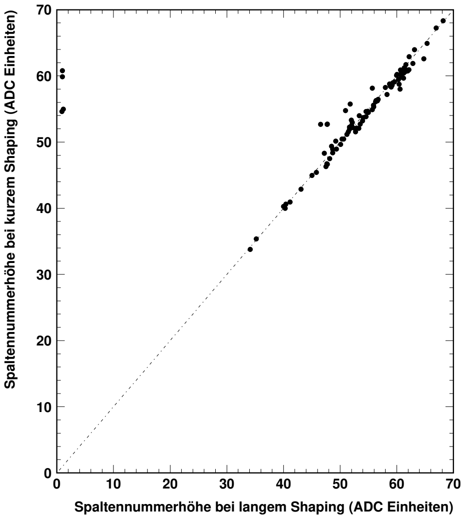



Abbildung 4.12: *Auftragung von Höhen der Spaltennummern bei kurzem gegen die bei einem Run mit langem Shaping. Einige Chips haben bei dem langem Shaping nicht funktioniert, die Werte liegen deshalb bei 0.*

### 4.3.3 Das Signal-zu Rausch-Verhältnis

Nach der Korrektur auf die Variationen in der elektronischen Verstärkung und nach der Pulssuche wird das Verhältnis von Signal zu Rauschen bestimmt (S/N, signal to noise ratio). Es gibt an, wie deutlich sich die echten Pulse vom Untergrund abheben. Es wird für jeden Cluster folgendermaßen berechnet:

- Als Signal wird die Clusterladung genommen, also die Summe der Streifenladungen aller Kanäle über der Schwelle. Die Streifenladung wird dabei von der lokalen Baseline aus berechnet.

- Das durchschnittliche quadratische Rauschen jedes zum Cluster beitragenden Kanals wird summiert. Aus der Summe wird dann die Quadratwurzel gezogen.

- Das Signal-zu-Rausch-Verhältnis ist der Quotient aus den beiden Werten.

Also:

$$\frac{S}{N} = \frac{\sum_i (d_i)}{\sqrt{\sum_i (\sigma_i^2)}},$$

$i$ läuft über alle Streifen des Clusters. Dabei bedeuten $d_i$ die Streifenladung, $\sigma_i^2$ die mittlere quadratische Abweichung des $i$-ten Streifens.

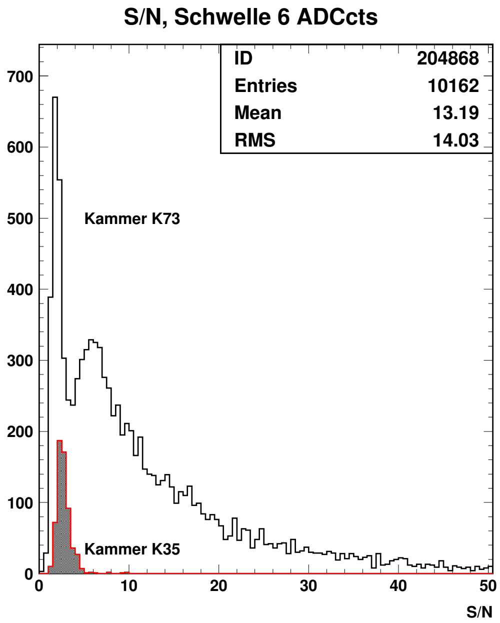



Abbildung 4.13: *Das Verhältnis von Signal zu Rauschen einer funktionierenden Kammer (K73) und der defekten Kammer (K35).*

In Abb. 4.13 ist das Signal-zu-Rausch-Verhältnis einer Kammer (K73) mit einer recht hohen Verstärkung aus dem Run 12358 gezeigt. Bei dieser Datennahme lag eine GEM-Differenzspannung von 400 V an den Kammern an. Zum Vergleich dazu das Signal-zu-Rausch-Verhältnis der defekten Kammer K35. Der Peak bei kleinen S/N-Werten ist also durch das Rauschen bestimmt. Das Verhältnis von Signal zu Rauschen, welches man am Maximum der Verteilung ablesen kann, liegt bei etwa 6. Dieser Wert liegt für alle Kammern der MS13- zwischen 5 und 7.

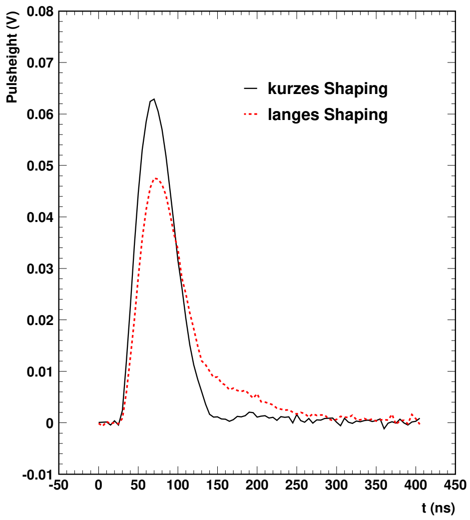



Abbildung 4.14: *Ein Vergleich von kurzem und langem Shaping [34].*

### 4.3.4 Shapingabhängigkeit des Rauschens

In diesem Abschnitt wird das Rauschen der Helixchips bei kurzen und langen Shapingeinstellungen verglichen. In Abbildung 4.14 sind zwei solche gemessenen Kurven der Helixe dargestellt. Das kurze (oder schnelle) Shaping fällt viel eher wieder auf Null ab, während das lange (langsame) Shaping einen langen Schwanz hat.

In der Abbildung 4.15 sind die Verteilungen der RMS-Werte in ADC-Einheiten für alle Chips der Halbstation MS13- aufgetragen. In der oberen Bildhälfte sind die Werte jeweils als Histogramm dargestellt, in der unteren pro Chip. Dabei ist die Numerierung der Chips willkürlich, wobei die zwei Chips eines PCBs auch in der Abbildung nebeneinanderliegen. Verglichen werden die Daten aller Chips der Halbstation MS13- bei kurzem und langem Helixshaping und Chips der MS13-, die jeweils an den kurzen Anodenstreifen sitzen.

Es fällt sofort auf, daß das Rauschen der Chips bei den kürzeren Einstellungen des Helixchips ($I_{pre} = 600\ \mu$A, $V_{fs} = 2.0$ V) um etwa 20% höher ist als bei den langen Einstellungen ($I_{pre} = 200\ \mu$A, $V_{fs} = 2.0$ V). Beim Vergleich der Chips, die die kurzen Streifen am Strahlrohrausschnitt der Kammern auslesen, mit denen an den langen Streifen stellt sich heraus, daß das mittlere Rauschen bei den kurzen Streifen im Mittel um etwa 10% geringer ist. Ein geringeres Rauschen erwartet man, da diese Streifen eine um etwa 20% geringere Gesamtkapazität haben.

### 4.3.5 Einstellen der Schwelle für die Pulssuche

Nachdem der Zeitpunkt der Auslese optimal eingestellt wurde, müssen die Schwellen für die Pulssuche eingestellt werden. Ziel ist es, möglichst alle echten Signale zu registrieren, also die Schwelle niedrig zu setzen, dabei aber den Untergrund gut zu unterdrücken und wenig Rauschen als Puls zu interpretieren. Für die ersten Analyseschritte wurde die Schwelle immer recht hoch gesetzt, um auf jeden Fall nur echte Pulse zu berücksichtigen. Für die Spurfindung oder Effizienzbestimmung sollen aber keine Signale weggeschnitten werden.

Bis Ende 1999 wurde die Schwelle für die Pulshöhe für alle Kammern gleich gesetzt. Typische Werte waren 4 ADC-Einheiten für die Kammern der Halbstation MS10- und das lange Shaping und 5 bis 6 ADC-Einheiten für die Kammern der MS13- und das kurze Shaping. Es hat sich herausgestellt, daß nach der Korrektur auf die Verstärkung der Auslesekette die Schwelle niedriger gesetzt werden kann, da die Daten aller Chips insgesamt einheitlicher geworden sind und damit die Schwelle knapper gesetzt werden kann. Dennoch ist nach der Untersuchung des

Rauschens klar geworden, daß diese Schwelle für jeden Chip unabhängig eingestellt werden muß. Deshalb wird eine vom Rauschen des jeweiligen Chips abhängige Pulshöhenschwelle implementiert werden.

Erst nach einer zumindest vorläufigen Analyse (s. Kapitel 4.4) kann die Schwelle möglichst gut gesetzt werden.

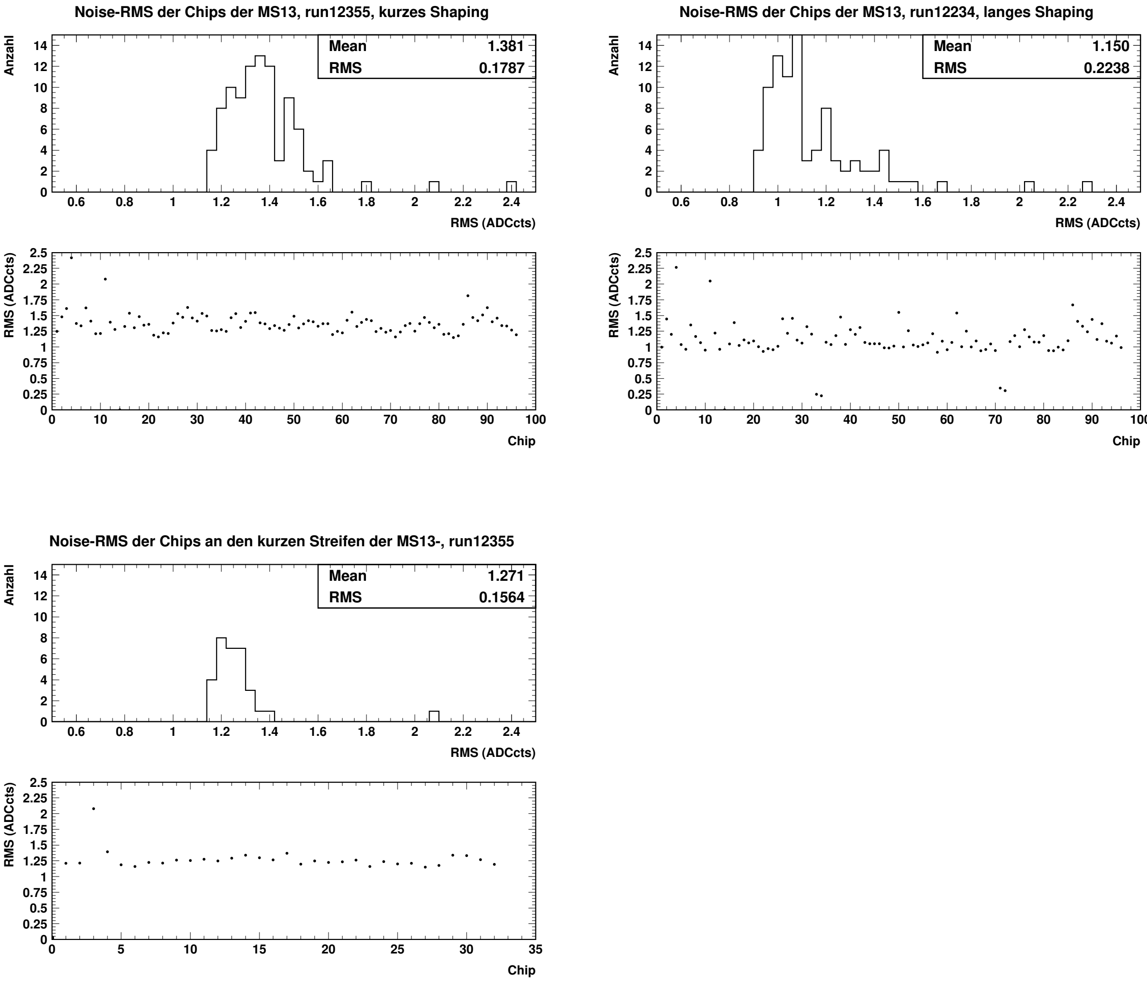



Abbildung 4.15: *Hier sind die Verteilungen der RMS-Werte verschiedener Chips aufgetragen: in der oberen Bildhälfte als Histogramm, in der unteren jeweils in Abhängigkeit vom Chip (willkürliche Numerierung). Links oben sieht man die Verteilung von allen Chips der Halbstation MS13- bei kurzem Helixshaping. Rechts oben sieht man alle Chips der MS13- für einen Run mit langem Shaping. Links unten sind vom Run mit dem kurzen Shaping die Chips ausgewählt, die in den Kammern an den kurzen Anodenstreifen sitzen. Alle Verteilungen sind bereits auf die unterschiedliche Verstärkung der Auslesekette korrigiert worden.*

## 4.4 Pulshöhen und Pulsbreiten

In den Pulshöhenspektren sind die maximalen Pulshöhen jedes Pulses einer Kammer aufgetragen. Dies wird als maximale Streifenladung eines Clusters bezeichnet. In den integrierten Verteilungen, im folgenden als Clusterladungen bezeichnet, werden pro Puls die Ladungen aller Kanäle über der eingestellten Schwelle summiert und dann histogrammiert. Die Ladungen in ADC-Einheiten werden jeweils von der lokalen Baseline aus berechnet. Das Pulsbreitenhistogramm enthält für jede Kammer die Anzahl der Kanäle, die in einem Cluster über der Schwelle liegen.

Man erwartet für die Pulshöhenverteilungen idealerweise Landauverteilungen, denn eine Landauverteilung beschreibt den Energieverlust minimal ionisierender Teilchen in dünnen Absorbern wie Gasen. Allerdings können in den Histogrammen, die der Monitoringprozess bereitstellt, bei den gewählten recht niedrigen Spannungen diese Verteilungen nicht gefunden werden. Das liegt daran, daß bei kleinen Pulshöhen viele Rauschpulse, Nachpulse und Pulse, die von niederenergetischen Teilchen stammen, beitragen, so daß man das Maximum der Verteilung nicht bestimmen kann. An Stellen nicht berücksichtigter und maskierter heißer Kanäle findet der Clustersuchalgorithmus ebenfalls Cluster, die genau einen Streifen breit sind und neben der Pulshöhen- auch die Clusterbreitenverteilung beeinflussen. Nur in einzelnen Kammern, die von vorneherein eine hohe Gasverstärkung haben oder später bei höheren Spannungen können die erwarteten Spektren beobachtet werden.

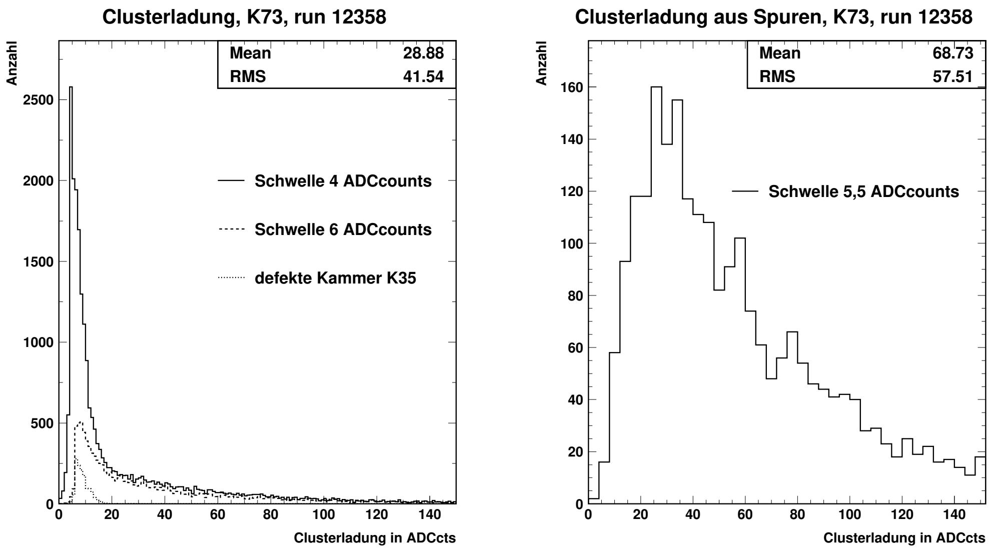



Abbildung 4.16: *Links eine Verteilung der Clusterladungen mit dem Beitrag aller Pulse und rechts eine solche Verteilung nur mit dem Beitrag der Pulse aus Spuren.*

In der Abbildung 4.16 ist links ein integriertes Pulshöhenspektrum (also die Ladung) aller Pulse dargestellt, rechts dagegen nur der Pulse, die auch zu Spuren beigetragen haben [42]. In letzterem Pulshöhenspektrum kann man eine Landauverteilung erkennen. Bei der Betrachtung nur dieser Pulse, die zu Spuren beitragen, ist man ziemlich sicher, daß man tatsächlich nur Informationen von wirklichen Teilchendurchgängen erhält. Die Bedingungen für die Spurdefinition, die an die Pulse aus verschiedenen Lagen gestellt werden, sind recht hart, so daß Spuren, die zum Beispiel aus Schauern stammen, verworfen werden.

Aus dem Mittelwert der einzelnen Verteilungen kann man aber trotz dieser Einschränkungen etwas lernen.

Zuerst einmal stellt sich die Frage, ob mittlere Clusterbreite und Clusterhöhe der einzelnen Kammern korreliert sind. Da als Clusterbreite die Anzahl der Streifen über der Schwelle definiert ist, werden mit höherer Ladung des Clusters mehr Streifen über dieser Schwelle liegen.

Um dies zu untersuchen, wurden in Abbildung 4.17 die Mittelwerte der Verteilungen von Clusterbreiten und von maximalen Streifenladungen in den Pulsen verschiedener Kammern der Halbstation MS13- gegeneinander aufgetragen. Wie erwartet sind die beiden Größen korreliert. Es fällt auf, daß die Werte der einzelnen Kammern sehr unterschiedlich sind. Der Grund dafür wird weiter unten erläutert.

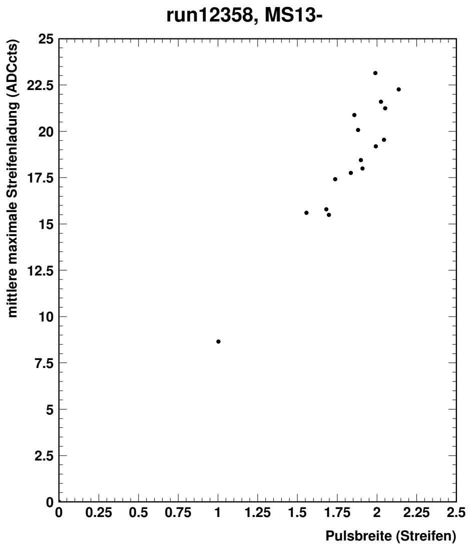



Abbildung 4.17: *Korrelation zwischen der mittleren Streifenladung und der mittleren Clusterbreite der Kammern der Halbstation MS13-.*

Der nächste wichtige Punkt ist das Verhalten des Mittelwerts der maximalen Streifenladungen in Abhängigkeit von der gesetzten Schwelle. Diese Abhängigkeit ist im oberen Bild der Abbildung 4.18 dargestellt. Bei niedrigen Schwellen tragen noch Rauschen und Nachpulse bei. Bei höheren Schwellen tragen hauptsächlich echte Pulse bei. Man kann gut erkennen, daß sich die verschiedenen Kammern ähnlich verhalten. Die absolute Höhe ist unterschiedlich, aber das zeigte sich schon bei der Korrelation zwischen Pulshöhen und Clusterbreiten. Die Steigung der Kurven unterscheidet sich allerdings nicht deutlich im Bereich kleiner Schwellen, in dem man noch Rauschpulse erwartet, von der Steigung im Bereich höherer Schwellen, in dem durch Erhöhen der Schwelle keine kleinen Rauschpulse mehr unterdrückt werden, sondern in dem echte Pulse weggeschnitten werden.

Interessant ist die Kammer K35, die bei ganz niedrigen Ladungswerten liegt. Diese Kammer funktioniert nicht: sie zeigt keine Driftströme, und in allen Pulsverteilungen dieser Kammer zeigen sich nur Rauschpulse.

Da sich die Steigungen so wenig unterscheiden, kann man anhand dieser Abbildung kaum entscheiden, wo man die Schwelle für die Clustersuche richtig setzen muß. In der unteren Bildhäfte von 4.18 ist die durchschnittliche Anzahl der gefundenen Cluster pro Ereignis in Abhängigkeit von der gesetzten Schwelle aufgetragen. Hier ist viel deutlicher zu erkennen, bis zu welcher Schwelle man noch viele Rauschpulse hat und ab wo man hauptsächlich echte Pulse sieht:

zum einen ist die unterschiedliche Steigung bei den funktionierenden Kammern klar ersichtlich, zum anderen ist wieder die nichtfunktionierende Kammer K35 zu sehen, in der überhaupt nur Rauschpulse zu finden sind. Nach dieser Abbildung würde man eine Schwelle bei etwas über 6 ADC-Werten setzen.

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Kammern finden sich überall wieder. Das deutet auf verschiedene Gasverstärkungen in den Kammern hin. Belegen läßt sich diese Behauptung durch die aufgenommenen Ströme. Das Verhältnis der Driftströme der verschiedenen Kammern bei gleicher Belastung (d.h gleiche angelegte Spannung, gleiche Targetrate) ist ein gutes Maß für das Verhältnis der Gesamtgasverstärkungen der Kammern. Für die Kammern der Halbstation MS13- sind in Abbildung 4.19 die mittleren Streifenladungen gegen die durchschnittlichen Driftströme während der Runs vom 15.12.99 dargestellt. Die Werte reichen von 200 nA bis zu 450 nA. Wieder erkennt man gut die Kammer K35, die keinen Driftstrom zeigt. Um mehr als einen Faktor 2 verschieden sind auch die Gasverstärkungen in den Kammern. Der Grund dafür ist noch nicht ganz klar, T. Zeuner konnte bis jetzt nur ausschließen, daß das Durchhängen der GEM-Folien der Grund dafür ist [43].

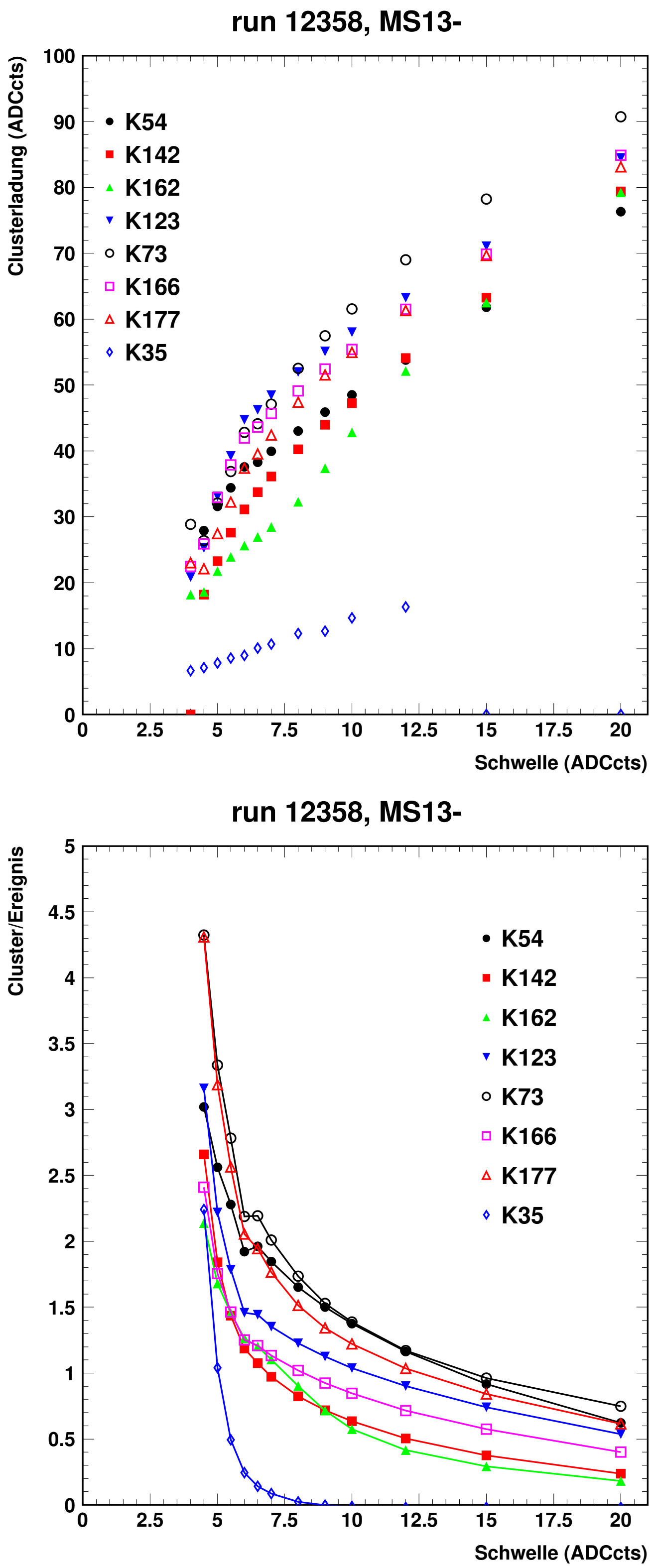



Abbildung 4.18: *Obere Bildhälfte: Mittlere Clusterladung in Abhängigkeit von der gesetzten Schwelle für einige Kammern der Halbstation MS13-. Unten: Anzahl der Cluster pro Ereignis in Abhängigkeit von der gesetzten Schwelle.*

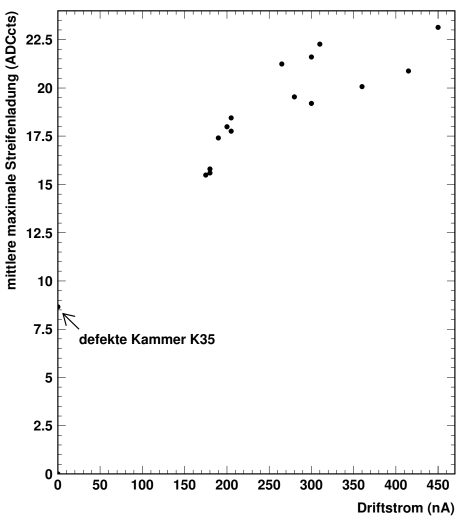



Abbildung 4.19: *Mittlere Pulshöhe in Abhängigkeit vom Driftstrom von Kammern der Halbstation MS13-.*

# 4.5 Occupancy

## 4.5.1 Erklärung der Form

Die Häufigkeit eines Signals auf einer Anode nennt man Occupancy. Occupancy-Darstellungen zeigen für jeden Streifen einer Kammer die durchschnittliche Trefferanzahl pro Ereignis. Man erkennt also die Verteilung der Hits auf dem MSGC-Wafer. Für diese Darstellung wird nur der Anodenstreifen gezählt, auf dem der Schwerpunkt des Clusters liegt und nicht jeder Streifen, der über der Schwelle lag. Bei 10 MHz Targetrate erwartet man im Inneren Spurkammersystem im Maximum etwas über 1% Occupancy.

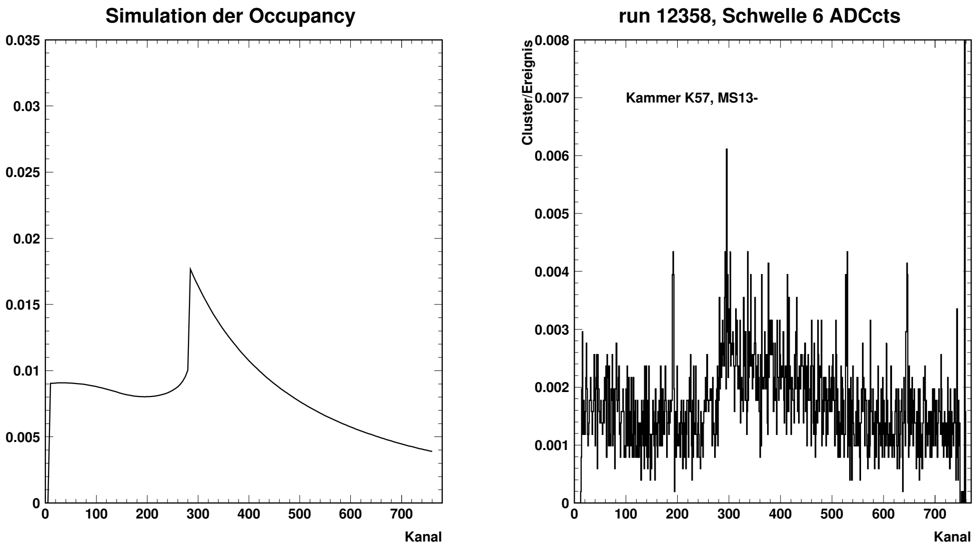



Abbildung 4.20: *Links ist eine einfache Simulation der Occupancy einer Detektorkammer zu sehen, rechts eine Messung bei 10 MHz Targetrate (Erläuterung im Text).*

Die Simulation der Occupancyverteilung in Abbildung 4.20 [44] baut auf folgenden Überlegungen auf:

- Entfernung vom Strahl: Die Häufigkeit der Signale von minimal ionisierenden Teilchen nimmt etwa wie 1/r mit der Entfernung r vom Strahlrohr ab.

- Geometrie: Die Kammergeometrie bedingt am Strahlrohrausschnitt (Kanäle 0 bis 280) kürzere Auslesestreifen. Deren Länge beträgt nur 2/3 der vollen Länge. Entsprechend weniger Cluster pro Ereignis werden von diesen Streifen gesehen.

Diese Berechnung soll nur die ungefähre Form der Belegung wiedergeben, die Einheiten sind frei gewählt. Es ist zu erkennen, daß die Detektordaten die aus der Simulation erwartete Form zeigen.

## 4.5.2 Erkennen von Fehlern anhand der Occupancy-Darstellung

Im folgenden Abschnitt wird gezeigt, welche Probleme sich an Hand der Occupancy-Darstellungen erkennen lassen.

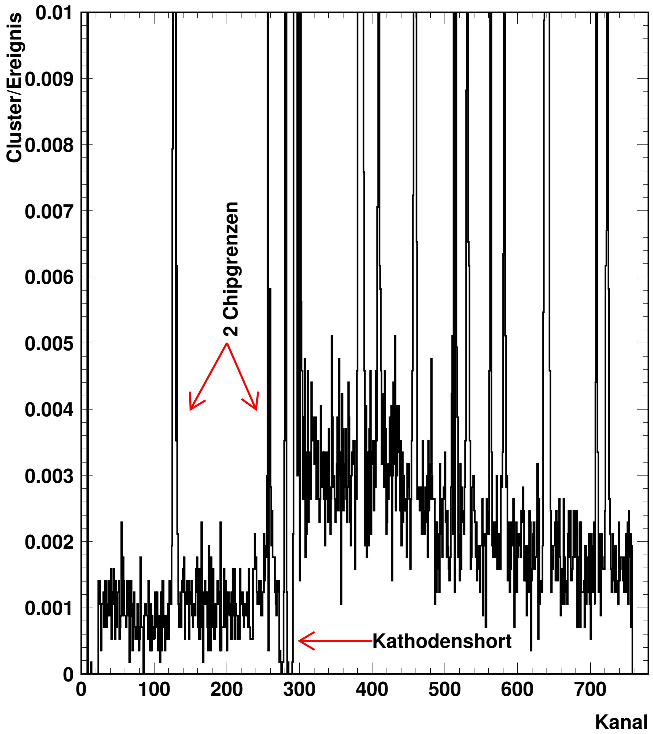



Abbildung 4.21: *Occupancy der Kammer K73 von Run 12103 vom 7.12.99. Man kann erkennen: eine ausgefallen Kathodengruppe, heiße Kanäle und Schwierigkeiten bei der Auslese (Jitter). Letzteres erkennt man daran, daß der Clusterfinder an allen Chipgrenzen sehr viele Cluster findet (nähere Erläuterungen im Text).*

Abbildung 4.21 zeigt eine gemessene Occupancy der Kammer K73 aus der MS13- vom 7.12.99. In diesem Bild treten viele der Fehler auf, die man überhaupt in dieser Art der Auftragung erkennen kann.

1. Kathodenshort (tote Kanäle): An der gekennzeichneten Stelle ist eine Kathodengruppe mit 16 Streifen ausgefallen. Direkt vor oder nach den ausgefallenen Streifen findet der Clustersuchalgorithmus häufig einen Puls, daher die hohe Occupancy dort. Das ist noch ein Fehler des Algorithmus.

2. Heiße Kanäle: Im mittleren und rechten Bereich gibt es einige heiße Kanäle. Diese müssen später in der Datenbank maskiert werden.

3. Jitter in der Auslese: Aus dieser Occupancy-Darstellung kann geschlossen werden, daß die Auslese nicht korrekt eingestellt war, denn in dieser Auftragung treten die Grenzen der Chips deutlich hervor. Jeweils um die Kanäle 128, 256, 384, 512 und 640 herum wurden teilweise Spaltennummerinformationen des Helixchips als Daten und damit als Puls erkannt. Am Anfang und Ende der Daten einer ganzen Kammer findet man diese Spaltennummern nicht, weil die ersten und letzten Kanäle nicht ausgelesen und auch im Programm nicht berücksichtigt werden.

Weitere Punkte, die sich anhand der Occupancy feststellen lassen:

1. Zu geringe, keine Gasverstärkung der Kammer: Grobe Aussagen über die Gasverstärkung lassen sich anhand der Höhe der Occupancyverteilungen treffen. Bei geringer Gasverstärkung zeigen sich in der Kammer weniger Cluster pro Ereignis. Darauf wird im nächsten Abschnitt näher eingegangen.

2. Ratenabhängigkeit: Mit steigender Rate steigt auch die Occupancy.

Es zeigt sich daher, daß die Darstellung der Occupancy einen schnellen Überblick über die Bedingungen in den Kammern und auftretende Fehler erlaubt.

### 4.5.3 Ratenscan, Vergleich mit Verstärkungskorrektur

Wie schon in Kapitel 2 erwähnt, soll die Occupancy der Kammern etwa 5% bei einer Rate von 40 MHz nicht überschreiten, um eine gute Spurfindung zu gewährleisten. Damit erwartet man bei 10 MHz etwa 1% Occupancy.

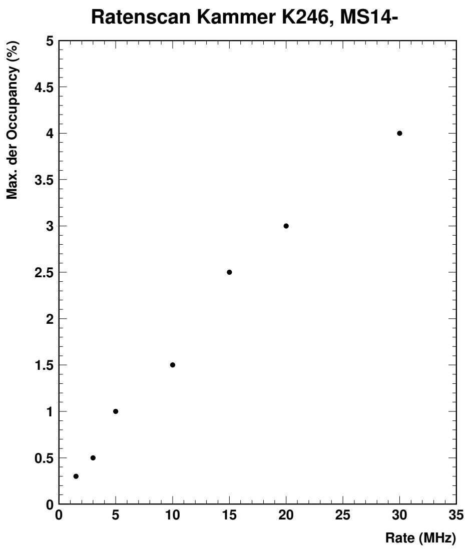



Abbildung 4.22: *Das Maximum der Occupancy der Kammer K246 aus der Halbstation MS14- mit steigender Rate.*

**Abhängigkeit von Rate und Gasverstärkung.** Bis jetzt läßt sich über die absolute Höhe der Occupancy noch nicht viel sagen, außer daß sie mit der Pulshöhe, damit auch mit den Pulsbreiten und den Driftströmen korreliert ist. Natürlich sollte die Höhe der Occupancy auch mit der Targetrate korreliert sein, da mit steigender Targetrate mehr Teilchen erzeugt werden, die durch die Kammer fliegen und zur Occupancy beitragen. In einem Ratenscan vom 10.12.1999 (Runs 12256 bis 12262 vom 10.12.1999) kann man das Anwachsen der Occupancy mit der Rate erkennen. In Abbildung 4.22 ist von der Kammer K246 aus der Halbstation MS14- die Höhe des Maximums der Occupancy gegen die Rate aufgetragen. Dabei lag eine GEM-Spannung von 390 V an. Hier wird eine Kammer aus der MS14- betrachtet, weil nur für diese Halbstation entsprechende Daten aus dem Ratenscan vorliegen.

In Abbildung 4.23 ist die maximale Höhe der Occupancy gegen den Mittelwert der Clusterbreiten für die Kammern der Halbstation MS13- aufgetragen. Die Korrelation ist gut zu erkennen. Das verdeutlicht den Zusammenhang mit der Gasverstärkung in den Kammern.

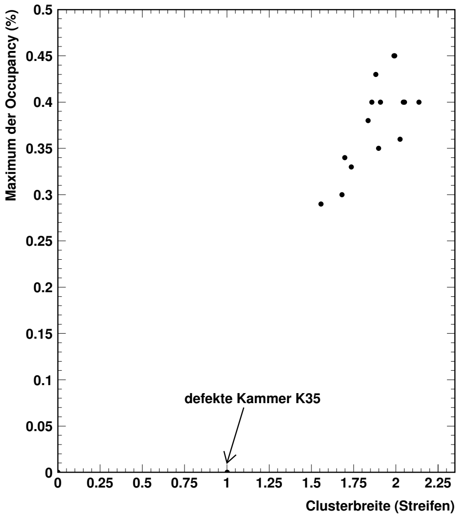



Abbildung 4.23: *Korrelation zwischen der Höhe der Occupancy und der mittleren Clusterbreite für die Kammern der MS13-.*

**Verstärkungskorrektur.** Auch in den Darstellungen der Occupancy kann man den Erfolg der Korrektur auf die Verstärkung der Auslesekette erkennen.

In Abb. 4.24 ist die Occupancy der Kammer K73 aus Run 12358 gezeigt. In der oberen Bildhälfte wurden die Daten nicht auf die unterschiedliche Verstärkung der Auslesekette korrigiert, in der unteren Bildhälfte sieht man die Occupancy nach der Korrektur. Interessant sind die beiden mittleren Chips der Kammer, also die Kanäle 256 bis 512. Besonders bei Kanal 384 erkennt man eine Stufe nach oben in der unkorrigierten Occupancy. Die gleich eingestellte Schwelle (in ADC-Einheiten) bei der Clustersuche schneidet in sehr verschiedenem Maße Rauschen in den Daten der beiden Chips weg. So dürfte der Betrag, um den der vierte Chip in der Occupancy über dem dritten Chip liegt, rein aus Rauschpulsen resultieren. Nach der Verstärkungskorrektur ist der Fehler zu einem großen Teil behoben.

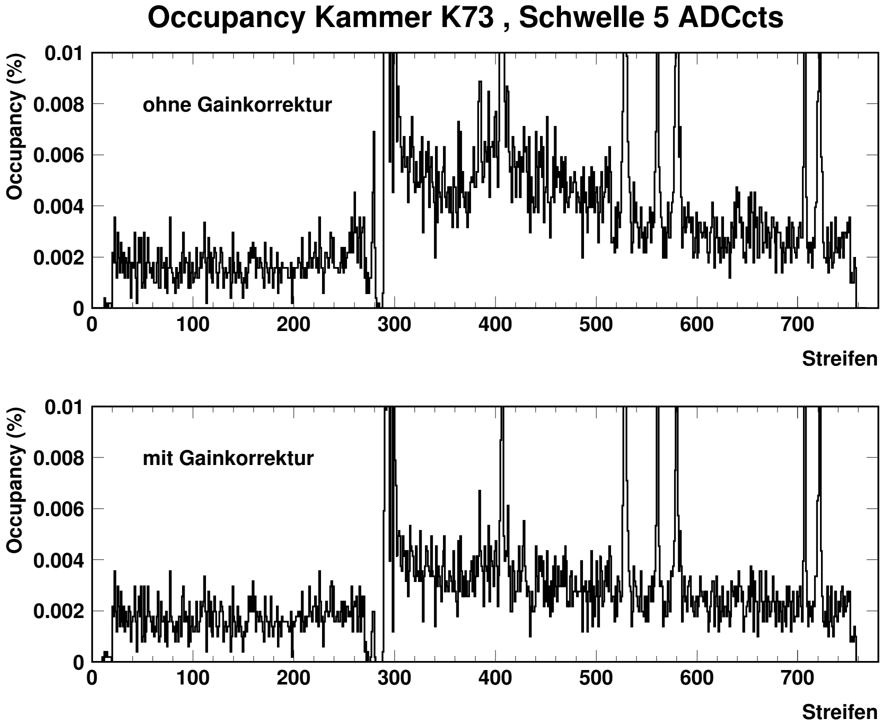


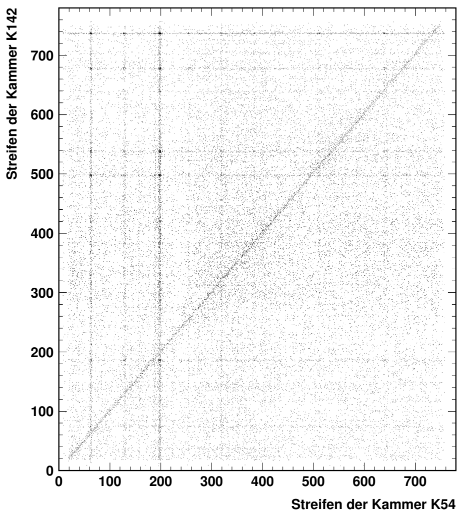

Abbildung 4.24: *Vergleich der Occupancy der Kammer K73 ohne und mit Verstärkungskorrektur (Run 12358).*

## 4.6 Räumliche Korrelation

Im Rahmen der Datenüberwachung soll eigentlich die räumliche Korrelation der Kammern innerhalb eines Paketes nicht betrachtet werden. Aber in der nachträglichen Analyse kann das durchaus im Rahmen des Programmes mitberechnet werden.

Es wurden jeweils zwei Kammern einer Doppellage gleicher Orientierung untersucht und die gefundenen Pulse miteinander verglichen. Bei jedem Ereignis werden die Streifennummern aller Cluster dieser beiden Kammern gegeneinander in ein zweidimensionales Histogramm eingetragen. Es ist also nur der Streifen bekannt, das ist für 0° Lagen die x-Position, für die um 5° gedrehten Lagen nur näherungsweise x. Wo auf dem Streifen, also an welcher y-Position, der Cluster entstanden ist, läßt sich bei der Betrachtung von einzelnen Kammern oder Doppellagen nicht feststellen.

Wenn die gefundenen Pulse tatsächlich von Teilchenspuren stammen, die vom Target ausgehen, muß eine Häufung der eingetragenen Pulse entlang einer Geraden, der Diagonalen, zu erkennen sein. Je nachdem, wo die Gerade verläuft, lässt sich ein Rückschluß auf den Versatz der Kammern gegeneinander ziehen. Sehr gut zu erkennen sind bei dieser Art der Darstellung auch heiße Kanäle.



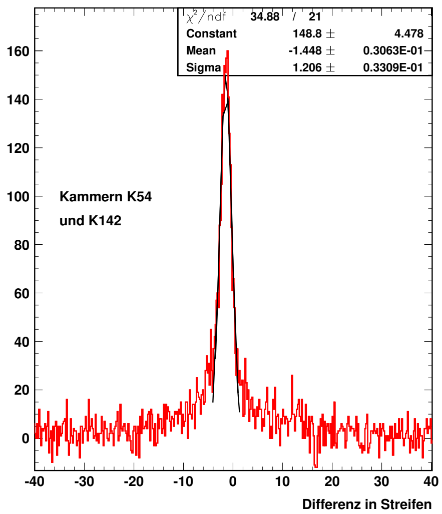




Abbildung 4.25: *Räumliche Korrelation der Kammern K54 und K142 aus dem Run 12358.* Links: *Aufgetragen sind jeweils die Orte der Clusterschwerpunkte.* Rechts: *Differenz des Clusterortes der beiden Kammern mit einem Gaußfit.*

In der linken Bildhälfte von Abbildung 4.25 ist genau das dargestellt. Auf der x-Achse sind die Streifen der Kammer K54, auf der y-Achse die der Kammer K142 aufgetragen. Die beiden Kammern bilden die erste Doppellage der Halbstation MS13-, das bedeutet, sie sind auf den beiden Seiten einer Platte der Tragestruktur direkt hintereinander angebracht. Wenn also ein Teilchen durch die erste Kammer fliegt, sollte es auch die zweite treffen und dort an der gleichen Stelle ein Signal auslösen. Die Häufung entlang der Diagonalen stellt echte Teilchenkoinzidenzen dar. Die vertikalen, deutlich hervortretenden Streifen in der linken Bildhälfte von Abb. 4.25 sind durch heiße Kanäle verursacht.

In dieser Darstellung sieht man sehr schön die Korrelationen, quantitative Aussagen aber erhält man aus den Differenzen der Clusterpositionen zweier Kammern. Dazu sind in der rechten Bildhälfte von Abbildung 4.25 jeweils alle Clusterpositionen zweier Kammern in einem Ereignis

voneinander subtrahiert und in das Histogramm gefüllt worden. Außerdem wurde der kombinatorische Untergrund, in dem auch weit auseinanderliegende Cluster korreliert werden, abgezogen. Der Peak tritt deutlich hervor und liegt bei etwas mehr als einem Streifen Differenz der Clusterpositionen in den beiden Kammern. An den Peak wurde eine Gaußfunktion gefittet.
Bei Betrachtung aller Lagen ergibt sich folgendes Bild:

| Lage 1 | Stereo-winkel (°) | Lage 2 | Stereo-winkel (°) | Mittelwert (Streifen) | Sigma (Streifen) |
|---|---|---|---|---|---|
| K54 | 0 | K142 | 0 | $-1.45 \pm 0.031$ | $1.20 \pm 0.033$ |
| K163 | 0 | K123 | 0 | $-1.33 \pm 0.003$ | $1.11 \pm 0.004$ |
| K73 | $-5$ | K166 | $-5$ | $-1.71 \pm 0.030$ | $1.30 \pm 0.033$ |
| K177 | $-5$ | K57 | $-5$ | $-1.30 \pm 0.029$ | $1.01 \pm 0.032$ |
| K157 | $+5$ | K174 | $+5$ | $-1.87 \pm 0.004$ | $1.32 \pm 0.005$ |
| K165 | $+5$ | K35(defekt) | $+5$ | - | - |

Tabelle 4.1: *Räumliche Korrelation der Doppellagen der Halbstation MS13-.*

Die meisten Spuren gehen nicht senkrecht durch die Detektoren, sondern zeigen unter einem kleinen Winkel vom Target nach außen. Je nach Impuls werden sie im Magneten noch dazu unterschiedlich stark abgelenkt. Deshalb müssen die x-Positionen der Cluster in den beiden Kammern verschoben sein. Es wurden immer von der Position der Cluster der in Strahlrichtung vorderen Kammer die Clusterposition aus der hinteren Kammer subtrahiert. Die Streifenzählung geht dabei vom Streifen am Strahlrohr nach außen. Ein negatives Vorzeichen sagt also, daß die hintere Kammer weiter außen getroffen wurde als die vordere.

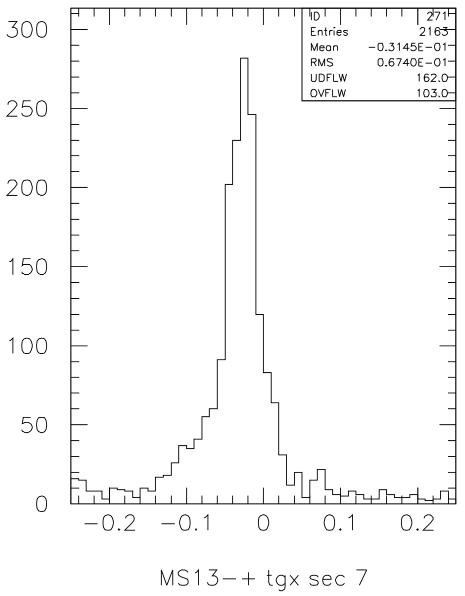



Abbildung 4.26: *Eine Spurwinkelverteilung aus einer Monte-Carlo-Simulation. Angegeben ist* $\tan x$ *für Spuren durch die Kammern der Halbstation MS13- im oberen Quadranten (+y).*

Da die beiden Kammern einer Doppellage etwa 11 mm Abstand haben, ergibt sich aus den Mittelwerten von etwa 1,5 Streifen, also etwa 450 $\mu$m, daß die Teilchen unter einem Winkel von etwa 41 mrad die Kammern durchfliegen. In dieser Abschätzung wurde nicht berücksichtigt, daß die Kammern gegeneinander verschoben sein können. Nach einer vorläufigen Analyse von T.Zeuner [45] ist diese Annahme auch gerechtfertigt.

Der mittlere Winkel von 41 mrad paßt zu Ergebnissen aus einer vollständigen Monte Carlo Simulation des Detektors [46] (vgl. Abbildung 4.26), aus der sich für die Kammern aus der Station MS13 für die Spuren eine Winkelverteilung mit einem Mittelwert von $\langle \tan x \rangle = -0.031$, das entspricht 1,1 Streifen, ergibt. Die Breite der Korrelation ist hauptsächlich durch die Winkelverteilung der Spuren gegeben.

## 4.7 Erhöhen der GEM-Spannung

In diesem Abschnitt wird kurz auf einen HV-Scan eingegangen. Es wurden direkt hintereinander in den Runs 13249, 13250, 13251 und 13252 bei vier verschiedenen GEM-Spannungen Daten genommen: bei 390 V, 395 V, 400 V und 405 V, während die anderen Spannungen beibehalten wurden.

Ein Erhöhen der GEM-Spannung bewirkt eine Erhöhung der GEM-Verstärkung in den Kammern und damit insgesamt eine Steigerung der Gasverstärkung. Das bedeutet, die auf den Anoden gesammelten und detektierten Ladungen sollten größer werden, dadurch erhöht sich auch die Anzahl der Streifen über der Schwelle, also die Streifenmultiplizität. Das Verhältnis von Signal zu Rauschen wird besser.

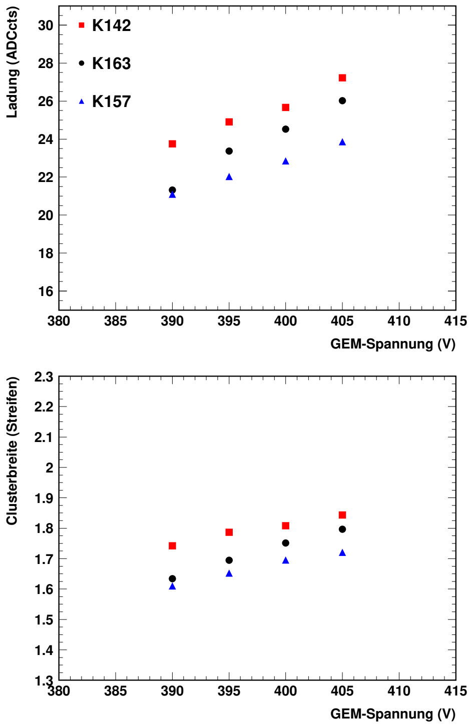



Abbildung 4.27: *Verhalten der Clusterladung und der Streifenmultiplizität in Abhängigkeit von der GEM-Spannung.*

Das Verhalten der Mittelwerte von Clusterladung und -breite ist in Abbildung 4.27 für je drei Kammern dargestellt. Es ist zu erkennen, daß sich mit steigender GEM-Differenzspannung die Größen wie erwartet verhalten. Die Werte der einzelnen Kammern liegen je nach ihrem individuellen Verhalten wieder unterschiedlich hoch.

Die folgende Abbildung 4.28 soll verdeutlichen, wie mit Erhöhen der Gasverstärkung das Signal deutlicher wird. Dargestellt ist das Verhältnis von Signal zu Rauschen der Kammer K157 bei $U_{\text{gem}} = 390$ V im Vergleich zu dem Verhältnis bei $U_{\text{gem}} = 405$ V. Bei der höheren Spannung sieht man eine deutliche Trennung des Signals vom Rauschen, bei der geringeren Spannung noch nicht.

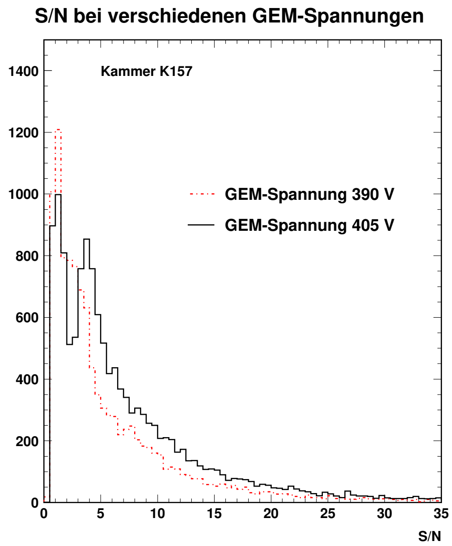



Abbildung 4.28: *S/N bei zwei verschiedenen GEM-Differenzspannungen.*

Allgemein läßt sich sagen, daß die bis jetzt aus Sicherheitsgründen standardmäßig gewählten Betriebsspannungen für die meisten Kammern zu niedrig liegen. In den ersten Datennahmen in diesem Jahr wurde teilweise versucht, bei den Kammern, die dies gefahrlos ermöglichen, die Spannungen zu erhöhen. In diesen Daten sieht man dann auch in den Monitoringhistogrammen schon Landauspektren.

# Kapitel 5

# Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde die Implementierung der Datenüberwachungssoftware für das Innere Spurkammersystem des Experimentes HERA-$B$ vorgestellt. Ein Großteil des Programmcodes konnte von der Gruppe des Vertexdetektors übernommen werden, mußte aber an die Erfordernisse des Inneren Spurkammersystems angepaßt werden.

Die Datenüberwachung funktioniert und wird routinemäßig bei Datennahmen mit Erfolg eingesetzt. In Kürze wird es das Programm auch „online" geben. In der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, welche Fehler in der Auslese und in den Kammern damit gefunden werden können. Das Programm stellt dafür unter anderem folgende Histogramme bereit:

- Pulshöhenspektren und Streifenmultiplizitäten jeder Kammer
- zur Untersuchung des Rauschens: Rauschen jedes Kanals und jedes Chips, Signal-zu-Rauschverhältnis für die Pulse jeder Kammer
- Occupancy-Darstellungen für jede Kammer
- Bunchspektren zur Kontrolle der Synchronisation mit anderen Detektorkomponenten

Mit den in obigem Programm bereitgestellten Mitteln wurde das Betriebsverhalten der Kammern beobachtet. Zuerst mußte die richtige Einstellung des Auslesezeitpunktes gefunden werden, und die Synchronisation mit den anderen Detektorkomponenten mußte überprüft werden.

Dann wurde das elektronische Rauschen betrachtet. Dabei hat sich zum einen herausgestellt, daß das Rauschen von PCB zu PCB stark variiert, d.h. daß die Verstärkung der Auslesekette eine große Rolle spielt. Zum anderen ist das Rauschen der Chips selbst bei kurzem Helixshaping stärker.

Bei der Untersuchung des Signal-zu-Rauschverhältnisses, der Pulshöhen und Streifenmultiplizitäten hat sich gezeigt, daß bei den ersten Datennahmen mit den Kammern die Spannungen (aus Gründen der Sicherheit) recht niedrig eingestellt waren. Dadurch war aber die Gasverstärkung in den meisten Kammern zu gering. Ebenfalls bestätigt wurde, daß die Kammern sich individuell sehr verschieden verhalten. Trotz prinzipiell gleicher Bauart sind die Gasverstärkungen von Kammer zu Kammern sehr unterschiedlich.

Neben Verbesserungen des Monitoringprogrammes muß in der HERA-$B$-Umgebung auch erst noch ein stabiler und gute Daten liefernder Betriebspunkt für die Kammern gefunden werden.

# Anhang A

# Überblick über die Stationen, Runs und Kammern

In diesem Kapitel wird in Tabelle A.1 ein Überblick über die in dieser Arbeit verwendeten Datennahmen gegeben, in Abbildung A.1 ist die Position und Benennung der einzelnen Stationen dargestellt und in Abbildung A.2 ist der Aufbau der Halbstation MS13- gezeigt.

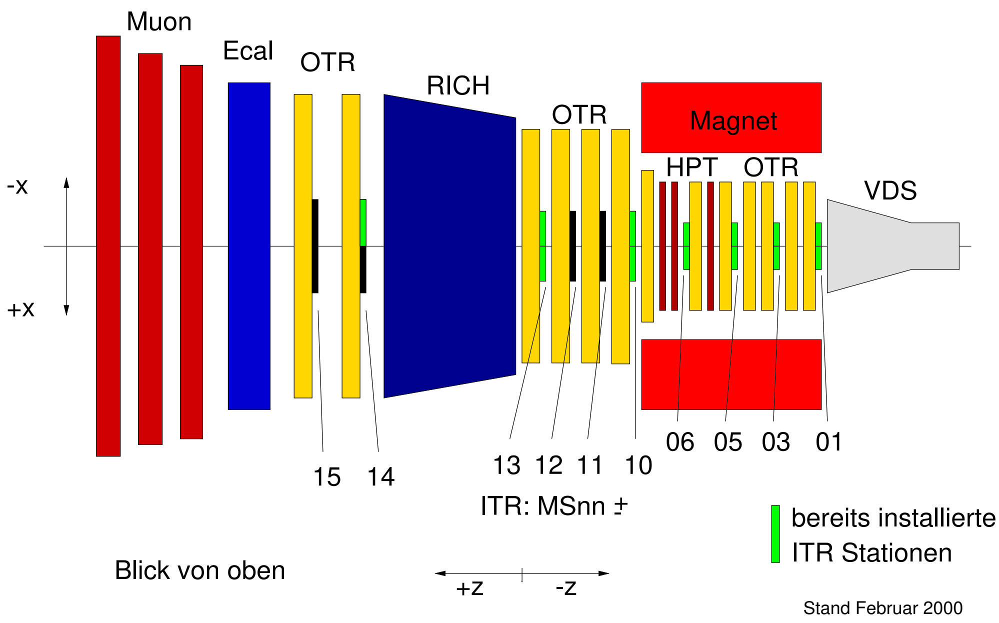



Abbildung A.1: *Die Positionen und Namen der Stationen [48].*

| Run | Spannungen | Targetrate | SClk | Shaping | Kommentar |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $U_d = -3200, U_k = -490V$ | | | |
| 12098 | $U_g = 390$ V | 5 MHz | 0, BX 1 | lang | Jitter |
| 12103 | $U_g = 400$ V | 5 MHz | 0, BX 3 | lang | Jitter |
| 12256 | $U_g = 390$ V | 1,5 MHZ | 0 | lang | Ratenscan, |
| 12257 | $U_g = 390$ V | 3 MHZ | 0 | lang | outer 2 |
| 12258 | $U_g = 390$ V | 5 MHZ | 0 | lang | |
| 12259 | $U_g = 390$ V | 10 MHZ | 0 | lang | |
| 12260 | $U_g = 390$ V | 15 MHZ | 0 | lang | |
| 12261 | $U_g = 390$ V | 20 MHZ | 0 | lang | |
| 12262 | $U_g = 390$ V | 30 MHZ | 0 | lang | |
| 12354 | $U_g = 400$ V | 10 MHz unstabil | 0 | kurz | Delayscan |
| 12355 | $U_g = 400$ V | 10 MHz unstabil | 40 | kurz | |
| 12356 | $U_g = 400$ V | 10 MHz unstabil | 80 | kurz | |
| 12357 | $U_g = 400$ V | 10 MHz unstabil | 120 | kurz | |
| 12358 | $U_g = 400$ V | 10 MHz unstabil | 160 | kurz | |
| 12359 | $U_g = 400$ V | 10 MHz unstabil | 20 | kurz | |
| 12360 | $U_g = 400$ V | 10 MHz unstabil | 60 | kurz | $U_g$ teilweise 0 |
| 12361 | $U_g = 400$ V | 10 MHz unstabil | 100 | kurz | $U_g$ teilweise 0 |
| 12362 | $U_g = 400$ V | 10 MHz unstabil | 140 | kurz | |
| 12363 | $U_g = 400$ V | 10 MHz unstabil | 180 | kurz | |
| 12365 | $U_g = 400$ V | 10 MHz unstabil | 120, BX $-1$ | kurz | |
| 12365 | $U_g = 400$ V | 10 MHz unstabil | 120, BX $+1$ | kurz | |
| 12365 | $U_g = 400$ V | 0 MHz unstabil | 140, BX $+2$ | kurz | |
| 13249 | $U_g = 390$ V | 10 MHz | 0 | lang | HVscan |
| 13250 | $U_g = 395$ V | 10 MHz | 0 | lang | |
| 13251 | $U_g = 400$ V | 10 MHz | 0 | lang | |
| 13252 | $U_g = 405$ V | 10 MHz | 0 | lang | |

Tabelle A.1: *In dieser Arbeit verwendete Runs.*

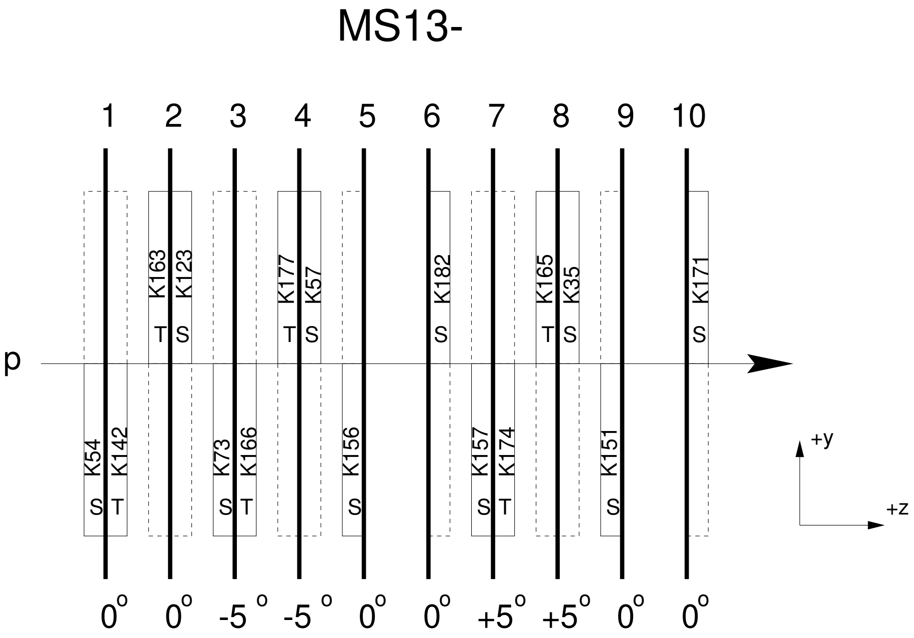



Abbildung A.2: *Überblick über die Kammern der Halbstation MS13-. Der Protonenstrahl kommt von links. Unten sind die Neigungen der Lagen angegeben,* S *bzw.* T *bezeichnen Signal- bzw. Triggerlagen. [47]*

# Anhang B

# Detaillierte Beschreibung der Programmpakete

## B.1 Die Verzeichnisstruktur

Hier folgt eine kurze Erläuterung der Verzeichnisstrukturen:

Die Monitoring-Software des ITRs liegt unter /afs/desy.de/group/hera-b/ITR/. Die Programmpakete befinden sich unter /afs/desy.de/group/hera-b/ITR/packages/. Dort befinden sich die verschiedenen Verzeichnisse für die einzelnen Programmpakete, z.B. ITR_marvin. In diesen Verzeichnissen wiederum gibt es verschiedene Versionen der Programme, beispielsweise ITR_marvin6-0. Nun findet man in src den Quellcode, also die C-Dateien, zugehörigen Headerdateien und Makefiles. In den bin.Plattform-Verzeichnissen befinden sich die Binärdateien für die entprechende Plattform, in den lib.Plattform-Verzeichnissen die Bibliotheksdateien für das jeweilige Programmpaket.

Gesammelt und in einer Bibliothek zusammengefaßt werden alle diese Programme beispielsweise in /afs/desy.de/group/hera-b/ITR/libitr6-0. Hier befinden sich das Haupt-Makefile, einige Shell-Skripte zum Sammeln der Dateien und unter include bzw. unter dem Plattformnamen alle Headerdateien bzw. Bibliotheken und die ausführbaren Dateien. Die in diesem Abschnitt erwähnten Skripte konnten alle von der Gruppe des Vertexdetektors übernommen werden.

## B.2 Grundgerüst: das „dmon“ -Programm

Hier sollen kurz die Funktionen des dmon-Programms aufgeführt werden, die vom Benutzer mit den eigenen Funktionsaufrufen gefüllt werden müssen. Das Programm wurde von der DAQ-Gruppe bereitgestellt.

- **dmonuser_init:** Wird zur Initialisierung aufgerufen und enthält die Aufrufe von:
  - `aframe_param_init()`
  - `iol_param_init()`
  - `ITR_dmon_param_init()`
  - `ITR_leda_param_init()`
  - `ITR_silraw_param_init()`
  - `ITR_marvin_param_init()`
  - `ITR_rhp_param_init()`

- **dmonuser_begin:** Legt bei uns nur fest, daß die Ereignisroutine für jedes ankommende Ereignis aufgerufen wird.
- **dmonuser_event(EVENT_HDR *event, int length):** Das ist die wichtigste Routine, hier werden alle Funktionen aufgerufen, die bei jedem Ereignis durchgeführt werden müssen. Beim ersten Aufruf werden die Startroutinen jedes Programmpakets aufgerufen, um Variable zu initialisieren:
  - `ITR_leda_startprogram( major, minor )`
  - `ITR_silraw_startprogram()`
  - `ITR_marvin_startrun()`
  - `ITR_rhp_init()`

  Bei weiteren Aufrufen findet dann das eigentliche Bearbeiten der Ereignisse statt wie in Kapitel 3.5 beschrieben.
  - `ITR_silraw_event( (char*) event, 0 )`
  - `ITR_marvin_event()`
  - `ITR_rhp_event( event )`
- **dmonuser_end:** Die Routine wird bei Programmende aufgerufen, damit alle Programme korrekt beendet werden können.
  - `ITR_silraw_endrun()`: gibt Chipstatistik aus
  - `ITR_marvin_endrun()`: ruft `ITR_marvin_update_db` auf und füllt Rauschen, Pedestals etc. in eine private Datenbank (falls vorhanden)
- **dmonuser_halt:** Die Routine zur endgültigen Beendigung des Programms:
  - `ITR_marvin_endprogram()`: ruft `ITR_leda_update_calib` auf und füllt darin die Datenbank mit neuen Werten von Pedestals, Kanalstatus etc.
  - `ITR_rhp_end`: füllt die HBOOK-Datei
- **dmonuser_loop:** Wartet auf den Beginn eines neuen Ereignisses.

## B.3 Die wichtigsten Funktionen und die Histogramme

In diesem Abschnitt sollen die wichtigsten Funktionen der einzelnen Programmpakete kurz vorgestellt werden. Außerdem wird die Numerierung der Histogramme aufgelistet.

### B.3.1 ITR_silraw

In der `ITR_silraw_event`-Routine werden für jedes Ereignis die Daten im jeweiligen angegebenen Format ausgelesen, ausgepackt und schließlich in einem einheitlichen Format den folgenden Funktionen zur Verfügung gestellt. Je nach einzulesendem Format wird eine der Funktionen

- `ITR_silraw_get_event()`
- `ITR_silraw_get_slb()`
- `ITR_silraw_get_fed()`

- `ITR_silraw_get_slbsub()`

aufgerufen. Diese machen alle das gleiche, nämlich sich das jeweilige Ereignis holen (mit der Funktion `ITR_silraw_fetch_event();`) und sich die FED-Daten und die dazugehörenden Headerinformationen beschaffen, wozu folgende Funktionen benötigt werden:

- `ETB_get_fed_hdr`: liefert die Informationen aus dem FED-Header wie BX-Nummer oder FLT-Nummer
- `ITR_silraw_fetch_fed_from_fed`: füllt die Informationen für ein FED wie Superlayer, Offset und Zeiger auf die Daten in die `ITR_Silraw_Event_t`-Struktur.
- `ETB_get_feds`
- `ETB_get_feds_from_slb`
- `ITR_silraw_etb_get_feds_from_slb`: holt aus einem SLB-Block die Header der FED-Blöcke
- `ITR_silraw_fetch_feds_from_etb_list`: holt einen SLB-Subblock aus der Liste der ETB_feds
- `ITR_silraw_fetch_fed_from_etbfed`: füllt ebenfalls einen FED-Block

Als letztes wird dann jeweils in der Funktion `ITR_silraw_fetch_cell_from_data` die Spaltennummer bestimmt.

Für Informationen über die Funktionen der Event Tool Box (Funktionen ETB_...) siehe [50].

### B.3.2 ITR_marvin

Die wichtigste Routine innerhalb dieses Paketes ist `ITR_marvin_processChip`. In dieser Funktion werden alle Berechnungen für die einzelnen Chips durchgeführt. Das beinhaltet den Aufruf folgender Funktionen, deren Funktionsweise in Kapitel 3.5 beschrieben sind:

- `ITR_marvin_subtractPedestals(chip,peds)`: von den Rohdaten (`chip→ digi`) werden die Pedestals subtrahiert und in den bearbeiteten Daten (`chip→ data`) gespeichert. Soll die Reihenfolge von Pedestal- und Baselinesubtraktion geändert werden, müssen die Daten erst in `chip→ data` kopiert werden und die Pedestalsubtraktion kann dann nicht mehr auf `chip→ digi` zugreifen.
- `ITR_marvin_followPedestals(chip,peds,nevmon,*nevtp)`: `nevmon` gibt an, wieviele Ereignisse zum ersten Berechnen der Pedestals verwendet werden. Danach wird nur noch ein laufender Durchschnitt der letzten `nevmon` Ereignisse gebildet. `*nevtp` zählt die bearbeiteten Ereignisse.
- `ITR_marvin_followRawNoise(chip,rvar,nevmon,*nevtr)`: In dieser Funktion wird von den nur pedestalkorrigierten Daten das Rauschen für jeden Kanal berechnet und in `rvar` geschrieben. `nevtr` zählt die Anzahl der hier bearbeiteten Ereignisse.
- `ITR_marvin_subtractBaseline(chip→status,chip→data,chip→nchan, ITR_marvin_iol.baseline.value )`: Wenn der Status des Kanals anzeigt, daß der Kanal in Ordnung ist, dann wird je nach dem Wert des Eingabeparameters `ITR_marvin_iol.baseline.value` ein Polynom dieses Grades an die Daten `chip→data` gefittet und subtrahiert.

- `ITR_marvin_followColumnNumber(chip,nevmon,*nevtp)`: bestimmt die Differenz in ADC-Einheiten der logischen Bits 0 und 1 der Spalteninformation.

- `ITR_marvin_smoothCut(chip,svar,nevmon,*nevts)`: berechnet ein quadratisches Rauschen für den Chip und schließt ihn aus der weiteren Analyse aus, wenn das Rauschen größer ist als `ITR_marvin_iol.smooth_cut.value`.

- `ITR_marvin_followSubtractedNoise(chip,svar,nevmon,*nevts)`: berechnet das Rauschen für jeden Kanal mit den pedestal- und baselinesubtrahierten Daten und ohne Hits und schreibt sie in `svar`.

- `ITR_marvin_norm_gain(chip, chamber)`: normiert alle Daten auf einheitliche Verstärkung der Auslesekette, die `chamber`-Angabe ist nicht mehr nötig.

### B.3.3 itrrhp

Die zur Zeit definierten Histogramme haben die in Tabelle B.1 angegebenen Identifikationsummern. Die Kammer- und Chipnummern werden dezimal angegeben. So ist zum Beispiel die erste Kammer der MS13-, Kammer K79, in hexadezimal die *0x1300*, in dezimal *4864*. Das Histogramm für die Ladung der Kammer K79 hat folglich die Nummer *604864*.

| Inhalt | Identifikationsnummer |
|---|---|
| Ladung | 600000 + Kammernummer |
| S/N | 200000 |
| Occupancy | 90000 |
| Clusterbreite | 40000 |
| Pulshöhe | 30000 |
| Cluster/Ereignis | 500000 |
| $\sigma^2$ pro Kanal | 800000 |
| Rauschen (2D) pro Kanal | 700000 |
| Bunchspektrum | 150000 |
| (im Detail) | 160000 |
| Rohdaten | 400000 |
| korr. Daten | 100000 |
| Pedestals | 300000 |
| Rauschen pro Chip | 900000 + Chipnummer |
| Spaltennummerhöhe | 950000 |

Tabelle B.1: *Die Nummern der zur Zeit definierten Histogramme. Die Kammer- und Chipnummern werden dezimal angegeben.*

## B.4 Eingabemöglichkeiten

**Prinzip.** Um Programmparameter eingeben zu können wie Schwellen und Offsets und um das Programm steuern zu können (Wahl des Clusterfinders, sollen Tests durchgeführt werden etc.), gibt es zwei Möglichkeiten. Zum einen gibt es die sogenannten „iol“ Dateien, in die diese Werte eingetragen können. Diese werden beim Programmstart eingelesen. Wenn die Defaultwerte im Programm selbst vernünftig gewählt wurden, dann müssen nur wenige Variable eingegeben werden.

Da diese Eingabeart in der ARTE-Umgebung (also in der Rekonstruktion) nicht praktikabel ist, gibt es eine Datenbank mit all diesen Eingabewerten, aus der die aktuellen Parameter eingelesen werden.

**Benennung.** Die Variablen in den iol-Dateien werden wie folgt eingetragen:

| Wert | Name des Programmpaketes | Name der Variable |
|---|---|---|
| 6 | ITR_marvin | pulseHeight |

Die Datei mit allen Eingabeparametern wird beim Programmstart mit +Piolfile angegeben.

## B.5 Ausführung

Hier werden einige Befehle aufgeführt, mit denen man Zugriff auf die Daten erhält und mit denen das Programm installiert, kompiliert, gelinkt und ausgeführt werden kann. Die angegebenen Pfade können (und werden) sich natürlich ändern.

- Kompilieren innerhalb eines Paketes mit make zum Anzeigen der definierten und verwendeten Pfade, mit make clean zum Entfernen alter Dateien und mit make all zum Kompilieren.
- ITRrebuild Paketname /Versionsnummer kompiliert das entsprechende Paket und kopiert die wichtigen Dateien in das Bibliotheksverzeichnis
- ITRmakelib bildet die gesamte Bibliothek neu mit allen in PACKAGES angegebenen Paketen
- Kopieren der gespeicherten Daten vom Band auf Festplatte: es existiert eine Java-Anwendung, die genau das tut. Dafür muß man auf einer „sun“ starten: /afs/desy.de/group/hera-b/DATAMGR/dev/l4stgui/hbstage_gui [51]. Die Dateien werden nach /hb/stage/data/REAL/00/exp03/dst/ kopiert, wobei „00“ das Jahr angibt und „exp03“ eine Experimentnummer ist.
- Ausführung offline: es existiert ein kleines Skript start_dmon, das man mit der Runnummer und der Dateinummer als Argumente aufrufen kann, wenn die Datei schon im normalen /hb/stage/-Pfad gespeichert ist.

  Wenn man das Programm von Hand starten möchte, gibt man an:

  ```
  dmon_itr -X -DST -Fpfad/filename -Process:Prozessname -DOMAIN:domainname
  +Piolfile.iol
  ```

  Das -DST dient zum Einlesen der Dateien im dst-Format, der Prozessname und die Angabe der Domain sind optional, für die Domain ist die Defaulteinstellung /OTHER/. Mit dem iol-File können dem Programm Parameter übergeben werden. Seit Version 6-0 werden die Steuerungsparameter aus der Datenbanktabelle ITR/Steering gelesen.

# Literaturverzeichnis


[1] Deutsches Elektronen-Synchrotron, *HERA*-B*, An Experiment to Study CP Violation in the* B *System Using an Internal Target at the HERA Proton Ring*, Proposal, DESY-PRC 94/02, May 1994

[2] Deutsches Elektronen-Synchrotron, *HERA*-B*, An Experiment to Study CP Violation in the* B *System Using an Internal Target at the HERA Proton Ring*, Design Report, DESY-PRC 95/01, January 1995

[3] G.Lüders, *Proof of the TCP Theorem*, Ann.Phys.**2**, 1 (1957)

[4] O.Nachtmann, *Phänomene und Konzepte der Elementarteilchenphysik*, vieweg, 1986

[5] M.Kobayashi, T.Maskawa, *CP-Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction*, Prog. Theor. Phys. **49**, 652 (1973)
und N.Cabibbo, *Unitary Symmetry and Leptonic Decays*, Phys.Rev.Lett. **10**, 531 (1963)

[6] L.Wolfenstein, *Violation of CP invariance and the possibility of very weak interactions*, Phys.Rev.Lett. **13**, 562 (1964)
und J.Liu, L.Wolfenstein, *Superweak contribution to* $B^0 - \bar{B}^0$ *mixing*, Phys.Lett. B **197**, 536 (1987)

[7] G.Buchalla, *CP Violation in K and B Decays*, hep-ph/9707545, August 1997

[8] J.H.Christenson, J.W.Cronin, V.L.Fitch, R.Turlay: *Evidence for the* $2\pi$ *decay of the* $K_2^0$ *meson*, Phys.Rev.Lett. **13**, 138 (1964)

[9] A.J.Schwartz, HERA-B*: Physics Potential and Prospects*, HERA-B note 99-244, Cincinnati

[10] M.Gronau, J.L.Rosner, *Identification of neutral* B *mesons using correlated hadrons*, Phys.Rev. D **49**, 254 (1994)

[11] A.Gellrich et al., *The Fourth Level Trigger Online Reconstruction Farm of HERA-B*, HERA-B note 98-202, Oktober 1998

[12] M.Hildebrandt, *Entwicklung und Bau der Detektoren für das Innere Spurkammersystem bei HERA*-B, Dissertation, Juni 1999, Heidelberg

[13] C.R.Bresch, *Neuere Untersuchungen von Prototypen der Gas-Mikrostreifen-Kammern (MS-GC) des inneren Spurkammersystems des HERA-B Experimentes*, Diplomarbeit, Juli 1997, Universität Heidelberg

[14] T.Beckmann, *Test von Auslesechips für Mikrostreifengaskammern und Kammertest im Teilchenstrahl*, Diplomarbeit, Physikalisches Institut der Universität Heidelberg, September 1996

[15] S.Hennenberger, Konstruktionszeichnung HE-ITR-0000-B57, Februar 1998, http://www.physi.uni-heidelberg.de/groups/herab/internal/pictures/HE-ITR-0000-B57.ps

[16] K.Kleinknecht, *Detektoren für Teilchenstrahlung*, Stuttgart: Teubner,1992

[17] F.Sauli, *Principles of Operation of Multiwire, Proportional and Drift Chambers*, CERN Report 77-09 (1977)

[18] W.Fallot-Burghardt et al., *Helix128-x User Manual*, V2.1, 3.2.1999, HD-ASIC-33-0697, ASIC Labor Heidelberg

[19] S.Hausmann, *Das Auslesesystem der Inneren Spurkammern bei Hera*-B, Dissertation, Physikalisches Institut der Universität Heidelberg, Februar 1999

[20] W.Gradl, persönliche Mitteilung, November 1999, Hamburg

[21] H.-B.Dreis et al., *Operation of a large GEM-MSGC detector in a high intensity hadronic test beam using fully pipelined readout electonics*, HERA-B internal note 98-149, October 1998

[22] A.Maklyaev, HbDisplay2, das Programm befindet sich unter: /afs/desy.de/user/m/maklyaev/public/HbDisplay2

[23] W.Gradl, persönliche Mitteilung, Januar 2000, Hamburg

[24] T.Jagla, persönliche Mitteilung, Januar 2000, Hamburg

[25] V.Rybnikov, *The State Machine Control Package for the HERA-B Run Control System*, DESY, November 1999
ftp://ftp.desy.de/pub/herab/daq/smc.ps

[26] D.Ressing, R.Wurth, *Implementation of the SLB using SHARCs*, März 1997, ftp://ftp.desy.de/pub/herab/daq/sharc.ps

[27] *Proposal for a HeraB Message Handler Interface*, ftp://ftp.desy.de/pub/herab/daq/rpm_doc.ps, June 1998

[28] *Remote Histogramming Package*, ftp://ftp.desy.de/pub/herab/daq/rhp.ps, Dez.1999

[29] *Online framework for monitor and diagnostic routines*, ftp://ftp.desy.de/pub/herab/daq/dmon.ps, Dez.1998

[30] T.Fuljahn, *Aufbau und Charakterisierung des schnellen Kontrollsystems für das Experiment HERA-B*, Dissertation, Hamburg 1999

[31] *Protocols & Data Formats in HERA*-B, D.Ressing et al., March 1997, ftp://ftp.desy.de/pub/herab/daq/format.ps

[32] K.Müller, persönliche Mitteilung

[33] W.Gradl, persönliche Mitteilung, Januar 2000

[34] U.Trunk et al., Messungen des Helixshapings, http://wwwasic.ihep.uni-heidelberg.de/~feuersta/projects/Helix/PulseShapeSpace/

[35] B.Schmidt, *Simulation of Pulsshapes and Distributions, GEM-MSGC + HELIX shaping*, December 1999, unveröffentlicht

[36] A.Lange, persönliche Mitteilung, Oktober 1999

[37] T.Zeuner, persönliche Mitteilung, Dezember 1999

[38] T.Jagla, *Untersuchung der Target-Strahl Wechselwirkung im HERA-B Experiment*, Diplomarbeit, Oktober 1998, Dortmund

[39] K.Ehret et al., *Observation of coasting beam at the HERA Proton-Ring*, DESY 00-018, hep-ex/0002002, Februar 2000

[40] W.Gradl, persönliche Mitteilung

[41] W.Gradl, persönliche marvin-Version

[42] T.Zeuner, persönliche Mitteilung

[43] T.Zeuner, persönliche Mitteilung, Februar 2000

[44] S.Keller, Dissertation in Vorbereitung

[45] T.Zeuner, persönliche Mitteilung, Januar 2000, Hamburg

[46] A.Lange, persönliche Mitteilung, Februar 2000, Hamburg

[47] Homepage der ITR-Gruppe, http://www.desy.de/~hbitr/installation/MSxx_Drawings.html#MS13

[48] S.Hausmann, *Einbauort und Namen der Inneren Spurkammern* http://www.desy.de/~hbitr/installation/pictures/Location_MSxx.ps

[49] T.Jagla, persönliche Mitteilung

[50] *Dokumentation der Event Tool Box*, ftp://ftp.desy.de/pub/herab/daq/etb.ps

[51] R.Baghshetsyan, *l4aStageGUI - GUI For Staging Procedure*, http://www-hera-b.desy.de/subgroup/software/datamgr/l4stgui.html

# Abbildungsverzeichnis

# Tabellenverzeichnis

## Danksagung

Zum Abschluß dieser Arbeit möchte ich einigen Personen sehr herzlich danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Herrn Eisele danke ich für das Thema dieser Arbeit, für die Möglichkeit, meine Arbeit am DESY durchführen zu können und die gute Betreuung trotz der Entfernung.

Bei Herrn DeKieviet möchte ich mich für die Übernahme der Zweitkorrektur bedanken.

Wolfgang hat mir fast alles beigebracht, was ich während der Zeit meiner Diplomarbeit gelernt habe. Dabei hat er eine wahnsinnige Geduld bei der Beantwortung sämtlicher Fragen aufgebracht. Bei Computerschwierigkeiten mußte er nur in die Nähe kommen, und jedes Programm funktionierte lieber wieder. Außerdem gilt ihm mein Dank für das mehrfache gründliche Korrekturlesen der Arbeit.

Torsten konnte mich davon überzeugen, daß das Programmieren nicht Selbstzweck ist, sondern daß man mit Hilfe der Programme auch Physik machen kann.

Malika war eine große Stütze „gegen“ die Vormacht der Doktoranden und Postdocs.

Bei Arnd, Carsten, Dirk, Hans-Bernd, Sebastian, Sonja, Stefan und Thomas möchte ich mich ganz herzlich bedanken für die anstrengende, aber dennoch motivierende, angenehme und lustige Arbeitsatmosphäre.

Georg Baki, Michael Funcke, Selim Issever, Torsten Jagla, Michael Nörenberg und Björn Schwenninger danke ich für Hilfe, Diskussionen, Spiel und Sport, nette Abende und Wochenenden in Hamburg.

Und nicht zuletzt gilt mein Dank meiner Familie und meinen Freunden für ihre Unterstützung während des gesamten Studiums.

**Erklärung:**

Hiermit versichere ich, daß ich diese Arbeit selbständig verfaßt habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, den 23. Februar 2000

.................................

Verena Buchholz