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

Diplomarbeit im Studiengang Physik

vorgelegt von
Malika Renée Wilde
aus Stuttgart

Die Slow-Control der Inneren Spurkammern bei HERA-*B* und

Untersuchungen zu geeigneten Hochspannungs-Parametern der GEM-MSGCs

Die Diplomarbeit wurde von Malika R. Wilde ausgeführt am
Physikalischen Institut
unter der Betreuung von
Herrn Prof. Dr. Franz Eisele

Die Slow-Control der Inneren Spurkammern bei HERA-B und Untersuchungen zu geeigneten Hochspannungs-Parametern der GEM-MSGCs

Zusammenfassung

Ein Hauptziel des Experimentes HERA-B am DESY in Hamburg ist der Nachweis der CP-Verletzung im System der B-Mesonen. Im Laufe des Jahres 1999 konnte der Detektor fast vollständig aufgebaut werden. Die Inneren Spurkammern bestehen aus GEM-MSGCs und werden in Strahlrohr-Nähe, wo die Spurdichte am höchsten ist, zur Spurrekonstruktiuon verwendet. Sie sind in Gemeinschaftsarbeit der Universitäten Heidelberg, Siegen und Zürich entstanden.
Im Rahmen dieser Arbeit konnte die Slow-Control der Inneren Spurkammern so ausgebaut werden, daß ein Betrieb des komplexen Systems möglich ist. Dabei stand besonders das automatisierte und kontrollierte Hochfahren der verschiedenen Hochspannungen der Inneren Spurkammern im Vordergrund.
Außerdem wurden Datensätze mit unterschiedlichen Werten für die Hochspannungen ausgewertet und der Einfluß dieser Änderungen auf wichtige Größen wie das Verhältnis von Signal-zu-Rauschen untersucht. Dabei wurde festgestellt, daß es möglich ist, die Drift- und Transferfelder in der GEM-MSGC herabzusetzen und so den Betrieb wesentlich sicherer zu machen, ohne daß dabei die Signalqualität (zum Beispiel das Signal-zu-Rausch-Verhältnis) wesentlich leidet.

The Slow Control of the Inner Tracker of HERA-B and Studies about suitable High Voltage Parameters of the GEM-MSGCs

Abstract

One of the main goals of the experiment HERA-B at DESY in Hamburg is the verification of the CP-Violation in the system of the B-mesons. During the year 1999 almost all of the detector could be assembled. The Inner Tracker consists of GEM-MSGCs and is situated near the beampipe, where the density of tracks is highest. It has been developed together by the universities of Heidelberg, Siegen and Zürich.
For this thesis the Slow Control of the Inner Tracker could be upgraded, so that an automated operation of the complex system is now possible. The automatic and controlled ramping of the different high voltages was the main achievement.
Furthermore, data sets for different high voltage settings were analysed and the influence on the data, for example the signal to noise ratio, was studied. It could be confirmed that the drift and transfer fields of the GEM-MSGCs can be reduced without drastic changes for example in the signal to noise ratio and therefore security for the GEM-MSGCs can be gained.

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1

Einleitung

Das Experiment HERA-B befindet sich am Teilchenbeschleuniger-Ring HERA in Hamburg und hat das Hauptziel, die CP-Verletzung im System der B-Mesonen nachzuweisen. HERA-B steht kurz vor der Fertigstellung.

Dabei decken die aus GEM-MSGCs bestehenden Inneren Spurkammern im Detektor den Bereich höchster Teilchendichte ab. Während des Jahres dieser Diplomarbeit gelang es, die Inneren Spurkammern fast vollständig bei HERA-B einzubauen. Einher ging ein gesteigerter Bedarf nach einer Software, mit deren Hilfe das gesamte System zuverlässig und sicher bedient werden kann. Im Rahmen dieser Arbeit konnte das Slow-Control-Programm der Inneren Spurkammern auf die neuen Bedürfnisse ausgeweitet werden und ist nun voll einsatzfähig.

Nach einer Einführung in die Ziele und den Aufbau des Experimentes HERA-B, sowie einer Erläuterung des Systems der Inneren Spurkammern, soll in Kapitel drei dieser Arbeit ein zusammenfassender Überblick über die Slow-Control von HERA-B und die verwendeten Programmpakete am Beispiel der Hochspannungs-Steuerung der Inneren Spurkammern gegeben werden. Außerdem soll dieses Hochspannungssystem, so wie es im Experiment zum Einsatz kommt, vorgestellt werden.

Die Hochspannungs-Steuerung des Inneren Spurkammersystems wird von einem Zweig der Slow-Control geregelt und soll in Kapitel vier erläutert werden. Dabei wird besonders auf die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Neuerungen eingegangen, die den automatischen Betrieb des gesamten Systems erst ermöglichen.

Seit November können mit dem fast vollständig komplettierten System der Inneren Spurkammern verwertbare Daten genommen werden. Eine Untersuchung dieser Daten findet sich in Kapitel fünf, wobei besonderes Augenmerk auf Datensätze mit unterschiedlichen Einstellungen der Hochspannung gerichtet wurde. Das Ziel ist einerseits nachzuweisen, daß nötig gewordene Änderungen keinen Einfluß auf die Datenqualität haben und andererseits eine Methode bereitzustellen, die es ermöglicht, den Einfluß der veränderten Hochspannungen der GEM-MSGCs auf die Rekonstruktion der Signale eines Teilchendurchgangs zu studieren.

Kapitel 2

Das HERA-*B*-Experiment

2.1 Das Deutsche Elektronen-Synchrotron

Das Deutsche Elektronen-Synchrotron (DESY) ist ein Forschungsinstitut, das sich der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung widmet. Ein Schwerpunkt ist dabei die Untersuchung der Materie mit den Methoden der Teilchenphysik. Die Frage, woraus die greifbare Welt aufgebaut ist, beschäftigt den Menschen seit jeher. Um tief genug in die Materie hineinblicken zu können, so daß die Bausteine der Materie untersucht werden können, werden sehr hohe Energien benötigt. Dafür gibt es zwei Gründe: Zum einen sind sehr kleine Wellenlängen nötig, um die kleinsten Teilchen (wie zum Beispiel den Inhalt eines Protons) untersuchen zu können, zum anderen haben die Teilchen, die erzeugt werden sollen, teilweise sehr große Massen, man braucht also eine hohe Schwerpunktsenergie. Um diese Energien bereitzustellen, werden große Teilchenbeschleuniger gebaut.

Bei der Beschleunigung von Elektronen auf Kreisbahnen geht ein Teil der Energie durch Abstrahlung verloren. Diese Strahlung — die Synchrotronstrahlung — wird am DESY in vielen weiteren Forschungsbereichen genutzt, zum Beispiel in der Oberflächenphysik, der Chemie und der Biologie.

Der Hauptsitz des DESY befindet sich in Hamburg, wo auch die Beschleunigeranlagen aufgebaut sind. Der größte Speicherring für Teilchen ist HERA[1] mit einen Umfang von 6336 Metern. Protonen und Positronen (oder wahlweise Elektronen) werden durch Vorbeschleuniger beschleunigt und im Ring mit End-Energien von E_{Proton}= 920 GeV und E_{Elektron}= 27.5 GeV in entgegengesetzter Bewegungsrichtung gespeichert. In Abbildung 2.1 ist die Anordnung der Beschleuniger auf dem DESY-Gelände dargestellt. Darin sind die Vorbeschleuniger für die Protonen eingezeichnet: Linac III, Desy III und Petra. Insgesamt gibt es am HERA-Speicherring vier Wechselwirkungszonen in denen Experimente angesiedelt sind, bei zweien davon werden die Teilchenstrahlen zur Kollision gebracht.

In der westlichen Wechselwirkungszone ist HERA-*B* aufgebaut. HERA-*B* nutzt nur

[1] Hadron-Elektron-Ring-Anlage

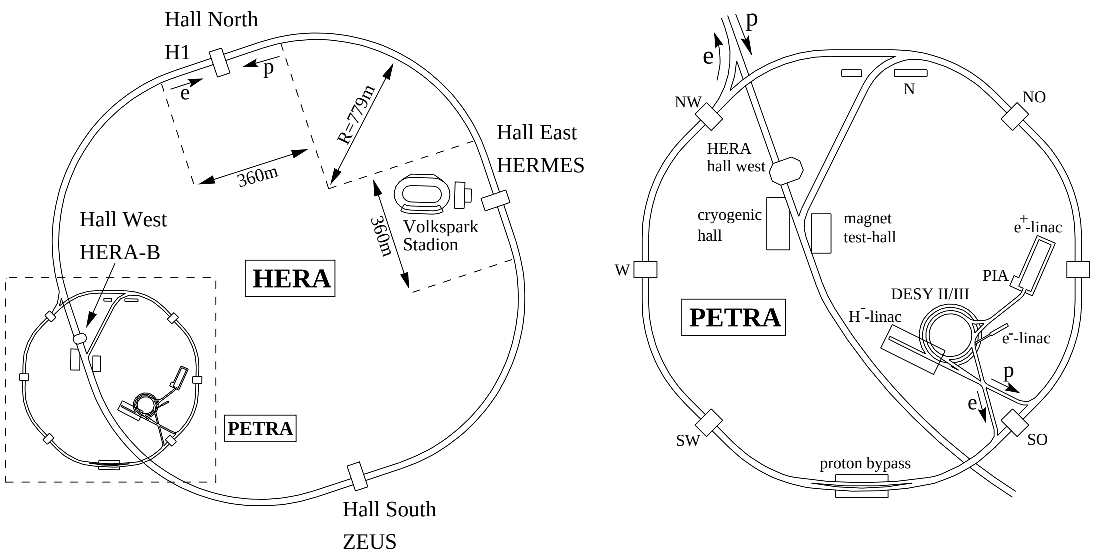


Abbildung 2.1: Der Speicherring HERA (linkes Bild) und die Vorbeschleuniger (in vergrößertem Maßstab im rechten Teil des Bildes). In den Hallen Nord und Süd werden die Teilchenstrahlen zur Kollision gebracht. HERA-B befindet sich in Halle West.

den Protonen-Strahl und bringt ihn zur Kollision mit einem feststehenden Target[2]. Die drei anderen Experimente befinden sich in den anderen Experimentierhallen: "H1" (Halle Nord) und "ZEUS" (Halle Süd) sind Kollisionsexperimente. Sie untersuchen die Struktur des Protons und die Wechselwirkungen zwischen Elementarteilchen. "HERMES" (Halle Ost) mißt die Spinverteilung der Quarks im Proton und Neutron, indem der Positronen-Strahl von HERA an einem polarisierten Gastarget gestreut wird.

2.2 Das HERA-B-Experiment

Eine interessante Fragestellung in der modernen Teilchenphysik beinhaltet die Suche nach der Brechung von Symmetrien in der mikroskopischen Welt. Bereits 1964 wurde nachgewiesen, daß sich die Zerfälle der K-Mesonen nicht invariant unter der kombinierten Anwendung der folgenden Symmetrieoperationen zeigen [5]:

- Die Ersetzung eines Teilchens durch sein Antiteilchen (Ladungskonjugation, C-Symmetrie[3]) und
- die räumliche Spiegelung aller physikalischen Größen eines Prozesses (Parität, P-Symmetrie)

Diese Tatsache wird CP-Verletzung genannt. Im System der neutralen Kaonen aüsert sich diese CP-Verletzung auf verschiedene Weisen: Teilchen und Antiteilchen zerfallen mit

[2] Ziel, englisch "target"
[3] C: englisch "charge"

unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit in den CP-Eigenzustand $\pi\pi$, und der langlebige CP-Eigenzustand K_L^0 kann sowohl in zwei Pion- als auch in drei Pion-Zustände zerfallen, die Eigenzustände zu CP=+1 und CP=-1 sind. Die Ursache der CP-Verletzung ist bisher nicht aufgeklärt.

Meßziel von HERA-*B*

Ein weiteres System, in dem CP-Verletzung vorhergesagt wird und in dem der auftretende Effekt so groß erwartet wird, daß er mit heutigen Methoden gemessen werden kann, ist das $B^0 - \overline{B^0}$-System. HERA-B hat sich die Hauptaufgabe gestellt, CP-Verletzung in den Zerfällen der B^0- und $\overline{B^0}$-Mesonen zu messen und wichtige Parameter zu bestimmen.

Die mittlere Lebensdauer eines B-Mesons beträgt ungefähr 10^{-12} s, das entspricht bei der Energie des Protonenstrahls von $E_{\mathrm{Proton}}=$ 920 GeV einer Zerfallslänge von 10 mm. Wegen der kurzen Zerfallstrecke können die B-Mesonen nicht direkt beobachtet werden, sondern müssen über ihre Zerfallsprodukte aufgespürt werden. Dabei spielt für HERA-B der folgende Zerfall eine besondere Rolle:

$$B^0 \longrightarrow J/\psi K_S^0 \longrightarrow l^+l^-\pi^+\pi^- \qquad \text{(Zerfallsrate R)} \tag{2.1}$$
$$\overline{B^0} \longrightarrow J/\psi K_S^0 \longrightarrow l^+l^-\pi^+\pi^- \qquad \text{(Zerfallsrate } \bar{\mathrm{R}}) \tag{2.2}$$

Dieser Zerfall zeichnet sich dadurch aus, daß er zum einen experimentell sehr gut meßbar und zum anderen in der Theorie einfach beschreibbar ist, so daß die Messung einer Zerfallsasymmetrie einfach interpretiert werden kann. Er wird daher der "goldene Zerfall" genannt und ist in Abbildung 2.2 dargestellt. Aufgrund der gleichen Endzustände ist aus den Zerfallsprodukten nicht unterscheidbar, ob ein es ein Teilchen oder ein B^0- oder ein $\overline{B^0}$-Mesonen zerfallen ist. Das kann aber dadurch getrennt werden, daß bei der Erzeugung zwei b-Quarks entstehen (ein b- und ein $\bar{b}$-Quark) und die Flavour des zweiten b-Quarks mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit durch seinen Zerfall bestimmt werden kann (diesen Prozeß nennt man "tagging[4]"). Im Beispiel der Abbildung 2.2 zerfällt das $\bar{b}$-Quark in ein geladenens B-Meson. Dementsprechend wird dieses geladene B-Meson "Tagging-B" genannt, und das neutrale B-Meson, dessen Zerfallsrate untersucht werden soll, "Signal B". Um die Flavour des "tagging" b-Quarks zu bestimmen, eignen sich besonders semileptonische Zefälle, in denen ein geladenes K-Meson entsteht.

Die CP-Verletzung bei den Zerfällen $B^0 \longrightarrow J/\psi K_S^0$ und $\overline{B^0} \longrightarrow J/\psi K_S^0$ wird durch die Messung der Asymmetrie A gemessen, die sich aus den Zerfallsraten ergibt (siehe Gleichungen 2.1)

$$A = \frac{R - \bar{R}}{R + \bar{R}} \propto \sin 2\beta \tag{2.3}$$

[4]tagging, englisch kennzeichnen

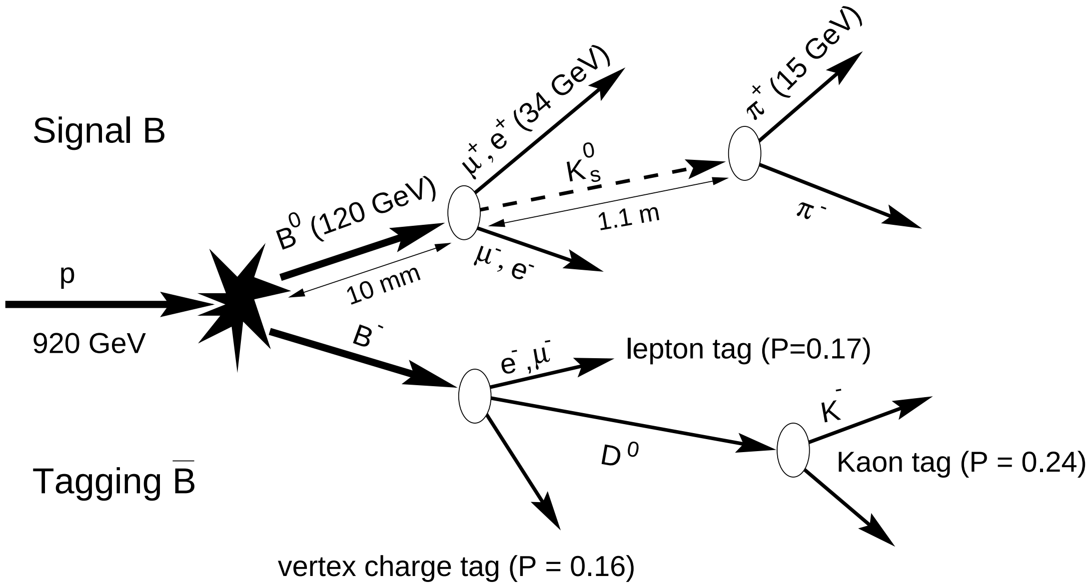


Abbildung 2.2: Der "goldene Zerfall" $B^0 \longrightarrow J/\psi K^0_S$. In 10^{-6} Fällen aller Wechselwirkungen eines Protons aus dem Strahl mit einem Atomkern des Drahttargets entstehen als Zerfallsprodukte B-Meson. Diese zerfallen nach ungefähr 10 mm. Anhand des neutralen B-Mesons wird die Zerfallsasymmetrie nachgewiesen. Über die Zerfallsprodukte des Tagging-B wird die Flavour des neutralen B-Meson eindeutig identifiziert.

Bei CP-Symmetrie-Erhaltung wären die Zerfallsraten identisch. Die Asymmetrie A ist direkt proportional zu dem Winkel $\sin 2\beta$, wobei β ein Winkel im "Unitaritätsdreieck" ist, das sich aus der Unitarität der Cabibbo-Kobayashi-Maskawa-Matrix (CKM-Matrix)[5] ergibt. Wenn $\beta \neq 0$ ist, heißt das, daß CP verletzt ist.

Weitere Informationen zur CP-Verletzung und zum theoretischen Hintergrund sind in vielen Lehrbüchern, unter anderem in [22], [25], [26], zu finden.

Erzeugung der B-Mesonen

Bei HERA-B werden die B-Mesonen durch inelastische Proton-Nukleon Wechselwirkungen zwischen den Protonen des HERA-Protonen-Strahls und einem festem Target erzeugt. Das Target besteht aus Drähten, die von vier Seiten an den Strahl herangefahren werden. Um eine ausreichende Wechselwirkungsrate von Protonen mit Target zu erreichen, müssen Protonen aus dem Strahl "herausgekratzt" werden [44]. Die anderen Experimente am Speicherring HERA, sowie der Protonen-Strahl selbst werden durch den HERA-B -Betrieb nur wenig beeinträchtigt.

Ein Haupt-Ziel des HERA-B-Experimentes ist, eine Meßgenauigkeit von $\Delta \sin 2\beta \approx 0.1$ zu erreichen. Dafür müssen $\mathcal{O}(2000)$ goldene Zerfälle identifiziert werden. Wenn man die

[5] Die CKM-Matrix beschreibt im Standardmodell die Mischung zwischen Masseneigenzuständen und Eigenzuständen der schwachen Wechselwirkung.

verschiedenen Wirkungsquerschnitte für die Erzeugung eines B-Mesonen-Paares und die Verzweigungsverhältnisse des "Goldenen Zerfalls" in Rechnung stellt (siehe Tabelle 2.1), erhält man bei einer Meßzeit von ungefähr einem Jahr ($\approx 10^7$ Sekunden) eine erforderliche Wechselwirkungsrate der Protonen mit dem Target von 40 MHz.

σ_{inel}	13 mb
$\sigma_{\mathrm{b\bar{b}}}$ (noch genau zu messen)	20 nb
$\Rightarrow \sigma_{\mathrm{b\bar{b}}}/\sigma_{\mathrm{inel}}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Targetrate	40 MHz
$\Rightarrow$ $\mathrm{b\bar{b}}$-Rate	60 Hz
Anteil der nachgewiesenen $\mathrm{B}^0 \rightarrow \mathrm{J}/\psi\mathrm{K}^0_\mathrm{S}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$
$\Rightarrow$ Anzahl $\mathrm{J}/\psi\mathrm{K}^0_\mathrm{S}$ in 1 HERA-Jahr	≈ 2500

Tabelle 2.1: In der Tabelle ist eine Abschätzung der Anzahl der rekonstruierten $\mathrm{B}^0 \rightarrow \mathrm{J}/\psi\mathrm{K}^0_\mathrm{S}$ nach einem HERA-B-Jahr (das entspricht ungefähr 10^7 s) dargestellt. Das Ziel ist es, eine Meßgenauigkeit von $\Delta \sin 2\beta \approx 0.1$ zu erreichen. Der Wirkungsquerschnitt $\sigma_{\mathrm{b\bar{b}}}$ ist noch nicht genau bestimmt und soll von HERA-B gemessen werden. Auf $0,6 \cdot 10^6$ inelastische Wechselwirkungen kommt im Schnitt ein $b\bar{b}$-Paar. Mit einer Targetrate von 40 MHz erhält man so eine Erzeugungsrate von $b\bar{b}$-Paaren von 60 Hz. Die Effizienz des Detektors, des Triggers und der anschließenden Spurerkennung reduzieren diese Rate, so daß etwa 2500 $J/\psi K^0_S$ nachgewiesen werden können, womit die angestrebte Meßgenauigkeit erreicht wird.

2.2.1 Der HERA-B-Detektor

Die Aufgabe des HERA-B -Detektors besteht darin, den Zerfall des “Signal-Bs” und des “Tagging-Bs” zu beobachten. Der Detektor ist einer extremen Strahlenbelastung und hohen Teilchenraten ausgesetzt. Bei einer Targetrate von 40 MHz beträgt der Teilchenfluß durch den Detektor bis zu $10^7 \mathrm{cm}^{-2}\mathrm{s}^{-1}$ [7]. Er ist als Vorwärtsspektrometer aufgebaut, alle Subkomponenten befinden sich also in Richtung des Protonen-Strahls gesehen hinter dem Wechselwirkungspunkt der Protonen mit den Target-Drähten. In Abbildung 2.3 ist der schematische Aufbau des HERA-B-Detektors dargestellt.

Im folgenden Abschnitt soll kurz auf die Aufgaben der einzelnen Detektorkomponenten eingegangen werden.

- Das Target besteht aus acht Drähten unterschiedlicher Materialien, je zwei auf einer Seite des Strahls. Diese Drähte können separat an den Protonen-Strahl herangefahren werden. Durch Ändern der Position der Drähte erhält man eine Variation der Wechselwirkungs-Rate.

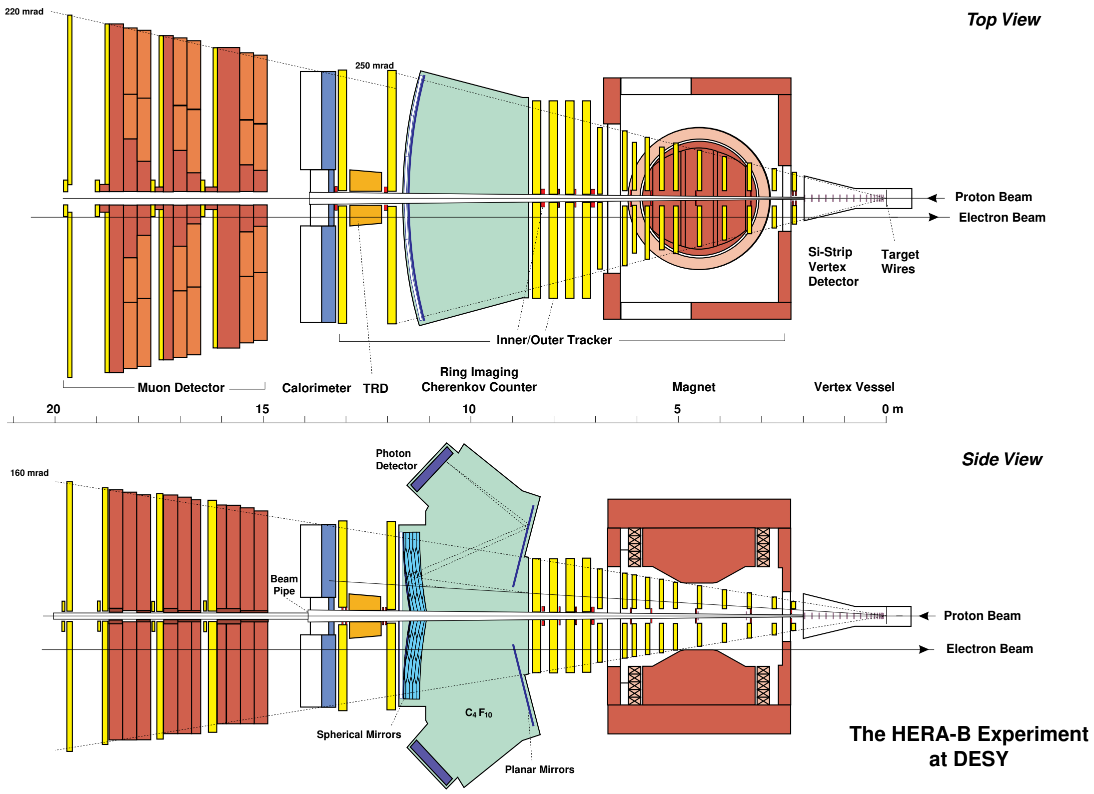


Abbildung 2.3: Aufsicht und Seitenansicht des gesamten HERA-B -Detektors. Die Protonen des Strahls wechselwirken mit den Target-Drähten. Die Spuren der dadurch entstehenden Sekundärteilchen werden durch den Vertex-Detektor, die Inneren und die Äußeren Spurkammern verfolgt. Die Inneren Spurkammern befinden sich nahe am Strahlrohr und sind in der Abbildung als kleine schwarze Kästchen zu sehen. Die Teilchenidentifikationen finden in RICH, ECAL und Myon-Detektor statt.

- Mit Hilfe des Silizium-Vertex-Detektors (VDS) kann der Wechselwirkungspunkt und der Sekundärvertex des B-Mesons bestimmt werden. Der VDS besteht aus 8 Lagen von Silizium-Streifendetektoren, die zwischen den Target-Drähten und dem Magneten angebracht sind. Dabei kann eine Auflösung in Strahlrohr-Richtung von ca. 10% der mittleren Zerfallslänge eines B-Mesons[6] und in transversaler Richtung ungefähr 20 bis 30 μm erreicht werden.

- Das Spektrometer wird aus dem Magneten (mit 0,7 Tesla) und dem System der Inneren und Äußeren Spurkammern gebildet und dient dazu, die Impulse der Zerfallsteilchen zu messen. Ein Teil der Spurkammern befinden sich im Magneten. Die Ablenkung der Teilchen im Magnetfeld ergibt sich aus der Rekonstruktion der Spuren vor und hinter dem Magneten, wobei durch die Meßpunkte im Magneten sichergestellt wird, daß eine Spur tatsächlich eindeutig verfolgt werden kann.

- Das Innere Spurkammersystem (ITR, Inner Tracker) ermöglicht eine Spurrekonstruktion der Sekundärteilchen in einem Bereich vom Strahlrohr bis zu einem Abstand von 22 cm. Auf das Innere Spurkammersystem wird in Kapitel 3 eingegangen.

- Ein Äußeres Spurkammersystem (OTR, Outer Tracker) deckt den Winkelbereich bis zu 220 mrad von der Strahlachse ab. Zusammen mit dem Vertex-Detektor und dem Inneren Spurkammersystem wird ein großer Bereich zur Spurrekonstruktion abgedeckt, wobei die Granularität umso besser sein muß, je näher der Detektor am Wechselwirkungspunkt bzw. am Strahlrohr positioniert ist.

- Das High-p_t-System im Magneten wird für den Trigger genutzt, um geladene Spuren mit hohem Transversalimpuls zu finden. Dieser Trigger ergänzt die Leptontrigger (Elektron und Myon) für rein hadronische b-Zerfälle wie zum Beispiel $B^0 \longrightarrow \pi^+\pi^-$. So können zusätzliche Informationen zur CP-Verletzung gesammelt werden.

- Ein ringabbildender Čerenkov-Licht-Zähler (RICH, Ring Imaging Čerenkov Counter) ermöglicht die Unterscheidung von Pionen, Kaonen und Protonen über einen großen Bereich der Impulsspektren.

- Der Übergangsstrahlungs-Detektor (TRD, Transition Radiation Detektor) erlaubt eine Trennung von Elektronen und Hadronen, die nahe am Strahlrohr entlang laufen. Der TRD besteht aus Straw-Tube-Lagen, zwischen denen Material mit hoher Strahlungsausbeute (Polyethylen-Schaum) eingebaut ist, so daß die durchfliegenden Teilchen Übergangsstrahlung erzeugen.

- Mit dem elektromagnetischen Kalorimeter (ECAL) können Elektronen identifiziert und Photonen-Energien bestimmt werden. Es wird hauptsächlich im First Level Trigger genutzt, um Elektron-Kandidaten zu finden. Das ECAL ist als "Sampling-Kalorimeter" ausgeführt, aktives Absorber- und Szintillatormaterial wechseln sich ab.

[6]Die Zefallslänge beträgt ungefähr 10 mm

- Der Myon-Detektor dient zur Identifizierung von Myonen und wird hauptsächlich im Trigger genutzt, um Myon-kandidaten zu finden. Das System besteht aus Driftkammern, die abwechselnd mit einem Eisen-Absorber angeordnet sind. Die Dicke des gesamten Eisen-Absorbers des Detektors entspricht der 20-fachen Wechselwirkungslänge von Hadronen.

Insgesamt hat der Detektor ungefähr 500.000 Auslesekanälen, die alle 96 ns ausgelesen werden müssen [27]. Das produziert eine Datenmenge von mehreren TeraBytes pro Sekunde. Mit Hilfe eines vierstufigen Triggers wird diese Datenmenge verkleinert, ohne daß interessante Ereignisse weggeschnitten werden. Erst dann werden die Daten zur späteren Analyse auf Band geschrieben.

Das nächste Kapitel befaßt sich mit dem Inneren Spurkammer-System und erklärt dessen Aufbau sowie Funktionsweise.

Kapitel 3

Das Innere Spurkammersystem

Um eine hohe Akzeptanz für den im vorigen Kapitel erläuterten "goldenen Zerfall" zu erhalten, müssen Teilchen-Spuren im Bereich nahe des Protonen-Strahlrohrs, also in radialen Abständen von 6 cm $\leq$ R $\leq$ 22 cm, aufgelöst werden. In Abbildung 3.1 ist die Simulation eines typischen Ereignisses abgebildet, bei dem vier Wechselwirkungen am Target stattgefunden haben. Man kann deutlich die hohe Teilchendichte nahe am Strahlrohr erkennen, tatsächlich laufen ungefähr 45% der Spuren durch diesen Bereich. Der Teilchenfluß beträgt bis zu $2 \cdot 10^4 \frac{1}{mm^2 s}$, was eine Strahlenbelastung von etwa 10 kGy/a bedeutet. Neben der Strahlenhärte wird die Anforderung an den Detektor gestellt, die Vielzahl von Spuren, die sich durch den hohen Teilchenfluß ergeben, trennen zu können. Deshalb ist eine hohe Granularität des Detektors gefordert. Außerdem muß die Auslese hinreichend schnell sein, da alle 96 ns ein neues Ereignis stattfindet.

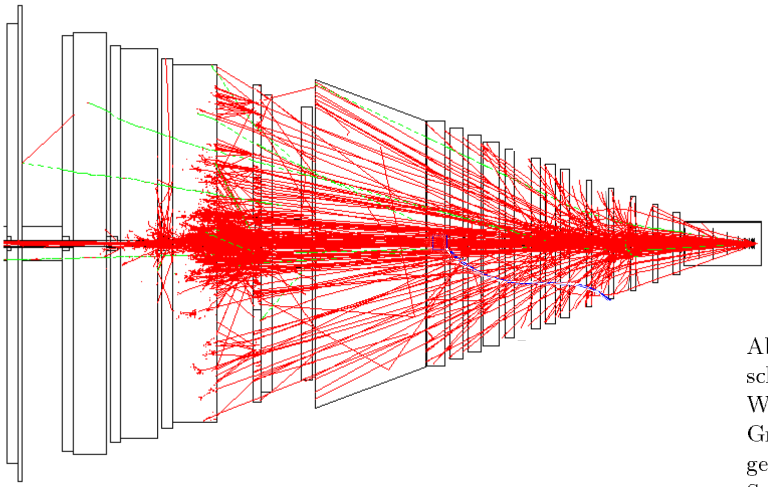


Abbildung 3.1: Ein typisches Ereignis mit vier Wechselwirkungen. Ein Großteil der Spuren (45%) geht durch das Innere Spurkammersystem [6].

Diesen Anforderungen werden die Mikrostreifen-Gaskammern mit "Gas-Elektron-Multiplier" gerecht (kurz: GEM-MSGC[1]), aus denen das Innere Spurkammersystem aufgebaut ist (Inner Tracker, ITR). Der Aufbau und die Funktionsweise einer GEM-MSGC werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

3.1 Mikrostreifen-Gaskammer mit GEM-Folie

Aufbau der GEM-MSGC

Die Mikrostreifen-Gaskammer ist eine Weiterentwicklung der Vieldraht-Proportionalkammer. Die Elektroden werden als Leiterbahnstrukturen mit Hilfe von lithographischen Methoden auf einem Glas-Substrat (Wafer) aufgebracht. Auf diese Weise erreicht man eine erhöhte Stabilität und kann sehr kleine Anodenabstände realisieren. In Abbildung 3.2 ist der Aufbau einer GEM-MSGC dargestellt.

Die Elektroden bestehen aus Gold und sind 170 μm (Kathode) und 10 μm (Anode) breit. Zwischen Glas-Substrat und Goldstreifen ist eine Schicht amorphen Kohlenstoffes ("diamond-like coating") aufgebracht, um der Oberfläche einen definierten Widerstand von ca. $10^{14}\Omega/\Box$ zu geben, der nötig ist, um Aufladungseffekte auf dem Glas zu vermeiden. Zwei Anoden sind je durch einen festen Abstand, den sogenannten "Pitch" von 300 μm voneinander getrennt.

In etwa 6 mm Abstand zum Wafer ist ein Deckel angebracht, der als Elektrode dient und das Gasvolumen der MSGC abschließt. Diese Driftelektrode besteht aus kupferbeschichtetem Kapton und schließt das Gasvolumen der MSGC nach oben hin ab.

Das Zählgas im Gasvolumen wird mit einem konstantem Fluß von ca. 10 ml/min ungefähr 29 mal am Tag vollständig ausgewechselt [8]. Das Innere Spurkammersystem benutzt als Zählgas eine Mischung aus Argon und CO_2 im Verhältnis 70:30.

Die GEM-Folie besteht aus einer regelmäßig gelochten Kapton-Folie mit einem Lochabstand von ca. 140 μm und einem Lochdurchmesser von 55 μm, die beidseitig mit Kupfer beschichtet ist. Insgesamt ist die GEM-Folie 50 μm dick [15].

Das Innere Spurkammersystem besteht aus ca. 25 x 25 cm großen MSGCs, deren Gasvolumen durch die GEM-Folie in ein 3 mm hohes Driftvolumen (zwichen Driftelektrode und GEM-Folie) und ein 2.8 mm hohes Transfervolumen (Zwischen GEM-Folie und Anodenebene) geteilt wird.

Mit den beschriebenen GEM-MSGCs wird in x-Richtung eine Auflösung von $\leq$ 100 μm erreicht. Im folgenden Abschnitt wird die Funktionsweise einer GEM-MSGC erläutert.

Funktionsweise

Ein schematisches Bild zur Funktionsweise einer GEM-MSGC ist in Abbildung 3.3 wiedergegeben. Ein ionisierendes Teilchen erzeugt auf seinem Weg durch das Zählgas freie

[1]MSGC steht für Micro Strip Gas Chamber

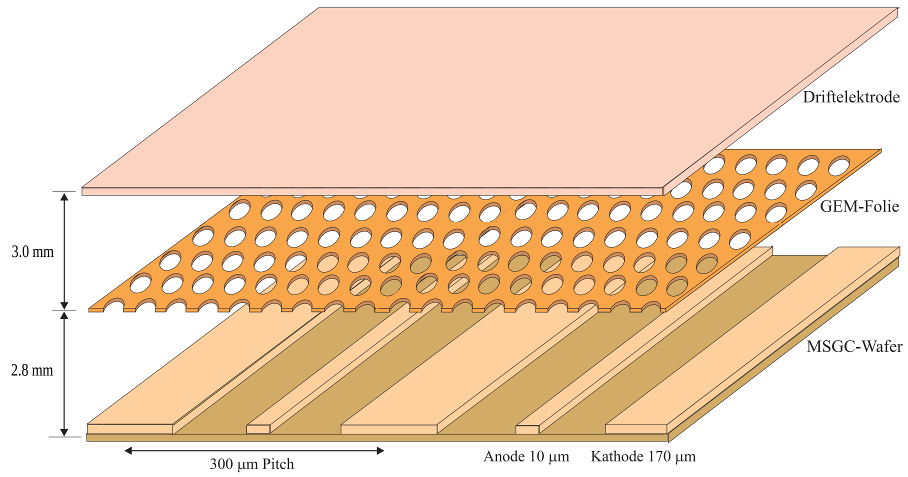


Abbildung 3.2: Auf einem Glas-Substrat ist die Mikrostreifen-Struktur aufgebracht (MSGC-Wafer, im Bild unten). Der Abstand von Kathode zu Kathode, der Pitch, beträgt 300 μm. Die Kathodenstreifen sind 170 μm breit, während die Anoden nur eine Breite von 10 μm besitzen. In ca. 6 mm Abstand zu dem MSGC-Wafer befindet sich die Driftelektrode. Die GEM-Folie ist auf etwa halbem Abstand gespannt.

Elektronen und Ionen. Bei HERA-*B* sind fast alle wechselwirkenden Teilchen minimal ionisierend — minimal ionisierende Teichen, MIPs[2]—, wobei die Energie eines MIPs pro Wegstrecke nach der Bethe-Bloch-Formel gerade so groß ist, daß sein Energieverlust minimal ist. Für ein minimal ionisierendes Teilchen ergibt sich bei der vom Inneren Spurkammersystem verwendeten Geometrie und Ar : CO_2 70:30 im Zwischenraum von Driftdeckel und GEM-Folie ein Mittelwert von 17 Elektronen in einer MSGC [11], die sich unter dem Einfluß des elektrischen Feldes in Richtung GEM-Folie bewegen und beim Passieren der GEM-Löcher wegen der stark zusammengeschnürten Feldlinien beschleunigt werden, so daß sie weitere Gas-Atome oder -Moleküle ionisieren. Die GEM-Folie dient also als Vorverstärker. Primär- und Sekundär- Elektronen driften weiter in Richtung Kathode, wo sie wieder beschleunigt werden und weitere Elektronen freisetzen können, da die Feldlinien im Bereich des Wafers wieder inhomogen verlaufen. Auf den Anoden kommt schließlich eine Elektronenwolke an, die mit einem Verstärker ausgelesen wird.

Mit Hilfe der GEM-Folie wird also die Gasverstärkung in zwei Schritte von ca. 25 an der GEM-folie und 200 an den Anoden aufgeteilt. So kann die Gasverstärkung und damit Potentialdifferenz zwischen Kathode und Anode kleiner gehalten und die Gefahr von Überschlägen, die die Elektroden-Struktur beschädigen, stark reduziert werden.

Um eine GEM-MSGC zu betreiben, werden vier verschiedene Spannungen benötigt: eine Driftelektrodenspannung, eine Kathodenspannung und je eine Spannung für die Ober- und die Unterseite der GEM-Folie, die als Differenzspannung gemessen wird. Das mittlere Potential der GEM-Folie ist so gewählt, daß die Felder zwischen GEM und Driftelektrode beziehungsweise Kathode ungefähr gleich groß sind, so daß im Mittel keine elektrostatische Kraft auf die GEM-Folie wirkt [11].

[2]Minimal Ionizing Particle

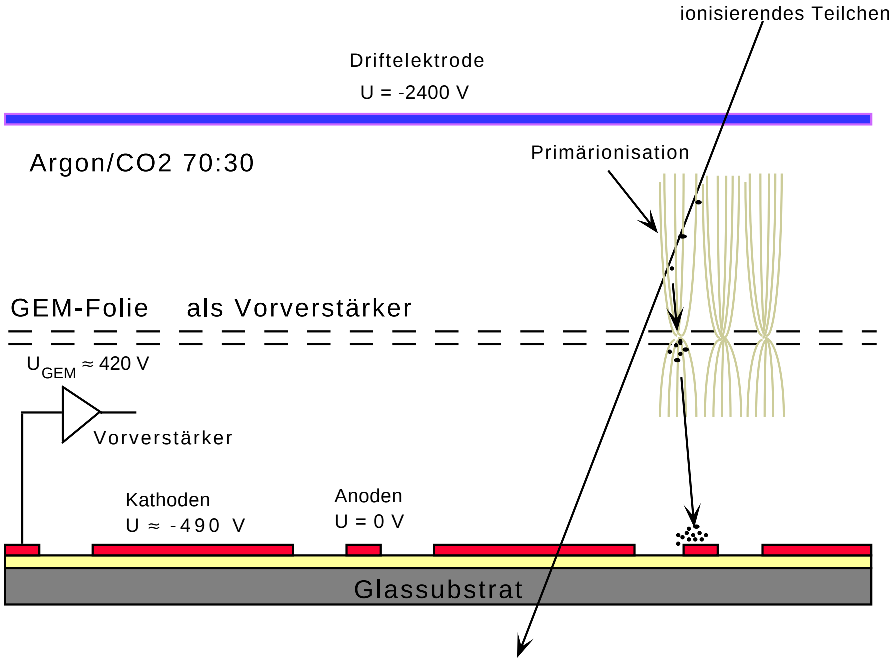


Abbildung 3.3: Funktionsweise einer GEM-MSGC. Ein ionisierendes Teilchen erzeugt im Gasraum der GEM-MSGC freie Elektronen. Die Elektronen werden in Richtung GEM-Folie beschleunigt. Durch den inhomogenen Feldlinienverlauf in der GEM-Folie erhalten die Elektronen genug Energie, um weitere Elektronen freizusetzen. Die zweite Gasverstärkung findet im Bereich der Anoden statt, da auch hier der Feldverlauf stark inhomogen ist.

Während des Jahres dieser Diplomarbeit wurden verschiedene Einstellungen für die Hochspannungen benutzt. Im Testbetrieb zwischen November 1999 und Februar 2000 wurden die Detektoren bei einer Driftspannung von -3200V betrieben, was Drift- und Transferfeldern von ca 4.5 kV/cm entspricht. Diese Driftspannung wurde auf Grund von Strahltests am PSI[3] als sinnvolle Betriebsspannung angesehen, im HERA-*B*-Betrieb gingen jedoch innerhalb von drei Monaten vier Detektoren verloren [18], die plötzlich eine große Zahl von Kurzschlüssen auf den Kathodengruppen entwickelten. Diese Kurzschlüsse werden durch Entladungen zwischen der Unterseite der GEM-Folie und der Kathodenebene hervorgerufen.

Eine genaue Untersuchung von Strömen und Spannungen zeigte, daß eine Erniedrigung der Driftelektroden-Spannung die Gefahr von solchen Überschlägen stark verringert, und bei gleichzeitiger Änderung der anderen Spannungen keine Einschränkung der Funktionalität des Detektors zu erwarten ist. Deshalb werden seit Februar 2000 die in Tabelle 3.1 gezeigten Hochspannungen benutzt. Die totale Gasverstärkung, die mit den Hochspannungs-Einstellungen vor Februar 2000 erreicht werden kann, beträgt etwa 5000 [40] und aus Labormessungen läßt sich schließen, daß sie mit den neuen Einstellungen vergleichbar bleibt.

[3]Paul Scherrer Institut in Villingen, Schweiz

	U_{kath} in V	U_{drift} in V	U_{GEM} in V
Bis Februar 2000	-490V	-3200V	400V
Seit Februar 2000	-490V	-2400V	420V

Tabelle 3.1: Benutzte Hochspannungs-Einstellungen für das Innere Spurkammersystem

Der optimale Betriebspunkt für den Betrieb bei HERA-B ist momentan noch nicht endgültig bestimmt und es werden derzeit noch verschiedene Datensätze ausgewertet. Im Rahmen dieser Arbeit wurden unter anderem Daten mit den in Tabelle 3.1 angegebenen Spannungen daraufhin untersucht (siehe Kapitel 6).

In dieser Arbeit wird von den Hochspannungswerten ausgegangen, die seit Februar 2000 benutzt werden, es sei denn, die Angaben sind explizit anderweitig gekennzeichnet.

3.2 Aufbau des Inneren Spurkammersystems

Das System der Inneren Spurkammern deckt den Winkelbereich von 10 bis 100 mrad rund um das Strahlrohr ab. Dabei decken immer vier GEM-MSGCs eine Lage senkrecht zum Strahlrohr ab, wie es in Abbildung 3.4 dargestellt ist. Die GEM-MSGCs sind in zehn Stationen von je 2 bis 8 solcher Lagen zusammengefaßt und auf einer Länge von ungefähr zwölf Metern am Strahlrohr entlang positioniert. Der Aufbau aller zehn Stationen ist in Abbildung 3.5 abgebildet, wobei die Detektoren des Inneren Spurkammersystems schwarz eingezeichnet sind. Die MSGCs an den unterschiedlichen Positionen entlang des Strahlrohrs haben drei verschiedene Größen von Strahlrohrausschnitten und werden dementsprechend nach Typ I, II und III unterschieden. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, daß der Querschnitt des Strahlrohrs in Richtung Myonen-Detektor zunimmt. Typ I befindet sich im Magneten (MC-Region), hat den kleinsten Strahlrohrausschnitt und dieselben Außenmaße wie Typ II, der sich zwischen Magneten und RICH (PC-Region) befindet. Die MSGCs, die hinter dem RICH angebracht sind (Typ III), haben größere Außenmaße (TC-Region).

Einige der Detektorebenen sind um einen Winkel von $\pm 5°$ (Stereowinkel) gedreht, so daß eine zweidimensionale Spur-Auflösung von $\leq$ 100 μm in x-Richtung und $\leq$ 3 mm in y-Richtung erreicht werden kann. Die schematische Anordnung ist in Abbildung 3.6 dargestellt.

Insgesamt besteht das System der Inneren Spurkammern aus 184 GEM-MSGCs, die alle einzeln mit Hochspannung versorgt werden müssen und deren technische Parameter ständig überwacht werden, damit ein reibungsloser Detektorbetrieb möglich ist. Während des Jahres dieser Diplomarbeit konnten die MSGC-Stationen fast vollständig eingebaut (insgesamt 136 GEM-MSGCs; PC- und MC-Region sind komplett ausgerüstet) und in Betrieb genommem werden. Pro Kammer müssen 4 Hochspannungskanäle, also insgesamt 736, bedient und überwacht werden.

Im Testbetrieb über die letzten drei Jahre wurde klar, daß die Detektoren sehr durch

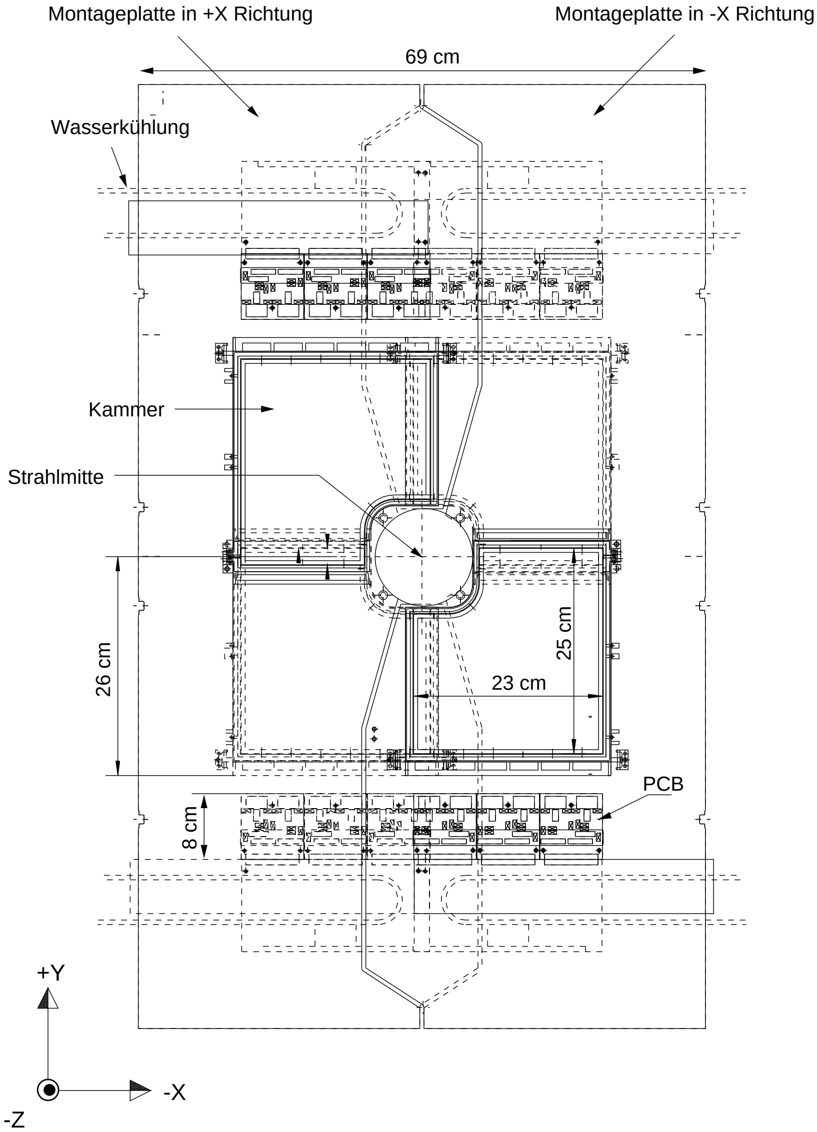


Abbildung 3.4: Immer vier GEM-MSGCs decken eine Lage senkrecht zum Strahlrohr ab. Ebenfalls im Bild zu erkennen ist die Ausleseelektronik, die sich über, beziehungsweise unter den Kammern befindet und von der Wasserkühlung gekühlt wird. Die vier Kammern sind auf vier Montageplatten befestigt, von denen je zwei eng hintereinander aufgebaut sind. Die Kammern einer Ebene sind also leicht in Z-Richtung verschoben. Im Bild sind die Kammern links oben und rechts unten vor den beiden vorderen Montageplatten befestigt, die so angebracht sind, daß keine Lücken im von den Kammern abgedeckten Bereich entstehen [14].

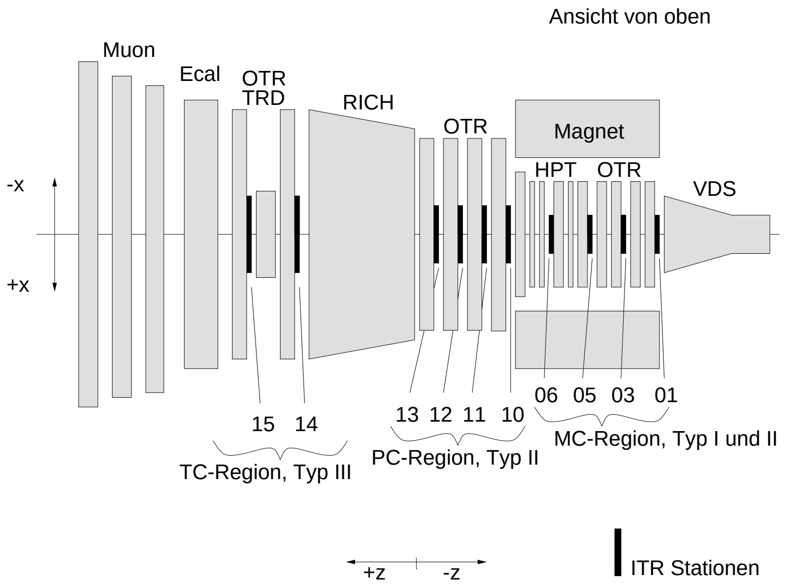


Abbildung 3.5: Die zehn Stationen des Inneren Spurkammersystems (schwarz eingezeichnet, nicht maßstäblich) erstrecken sich über einen großen Bereich des gesamten HERA-B -Detektors. Die Kammerpakete (Stationen) enthalten mit zunehmendem Abstand zum Target größere MSGCs

Hochspannungs-Überschläge gefährdet sind, welche die filigrane Struktur der Anoden beschädigen. Es ist daher unerläßlich, daß die Hochspannungen sehr sorgfältig in festgelegten Schritten und einer bestimmten Reihenfolge angelegt und zusammen mit den Kammerströmen zuverlässig überwacht werden. Wegen der Vielzahl der Hochspannungskanäle und der komplizierten Einschaltprozedur ist es sehr wichtig, daß die Spannungen der Kammern nicht mehr von Hand eingeschaltet, sondern automatisch angelegt werden und daß wichtige Schutzfunktionen eingebaut sind, damit ein Betrieb aller Kammern überhaupt erst möglich ist.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde die Software, welche die Hochspannungsversorgung des Inneren Spurkammersystems regelt, soweit ausgebaut, daß sie den obigen Anforderungen nachkommt und in die allgemeine Slow-Control-Umgebung von HERA-B eingebunden ist, so daß das gesamte System gleichzeitig von einer Schichtbesatzung bedient kann.

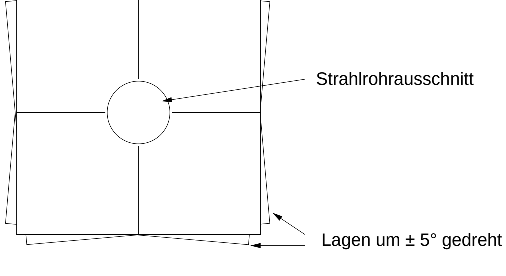


Abbildung 3.6: Die schematische Darstellung der Anordnung der $\pm 5°$-Lagen zu den nicht gedrehten $\pm 0°$-Lagen. Durch die $\pm 5°$-Lagen ist eine Spurauflösung in y-Richtung möglich.

Kapitel 4

Slow-Control

Bei dem Betrieb eines Detektors gibt es viele Größen, die sich nur langsam ändern. Einige Beispiele sind hier zusammengefaßt:

- die Hochspannungen und Ströme der Detektoren
- die Versorgungsspannung der elektronischen Geräte
- die Temperatur und Kühlung
- die Parameter der Gassysteme
- die mechanische Position

Die Meßwerte werden typischerweise einige Male pro Minute bis zu einem Mal pro Sekunde ausgelesen. Diese sich relativ langsam ändernden Werte steuert und überwacht die Slow-Control. Dabei werden wichtige Werte gespeichert, so daß die Entwicklung eines Systems jederzeit nachvollziehbar ist. Damit ist der sichere Betrieb innerhalb der normalen Betriebsparameter der Detektoren gewährleistet. Dies sind die notwendigen Bedingungen für eine hohe Qualität der genommenen Daten.

Implementierung bei HERA-*B*

Damit eine Schichtbesatzung den gesamten HERA-*B*-Detektor relativ einfach bedienen kann, müssen die Bedienelemente für die Subdetektoren nach einem einheitlichen Prinzip aufgebaut und graphisch ähnlich gestaltet sein. Es wird damit gewährleist, daß nicht viele verschiedene Konzepte zur Bedienung der unterschiedlichen Subdetektoren gelernt werden müssen.

Auch für die Software ist eine einheitliche Struktur wünschenswert, damit die Fehlerbehandlung erleichtert wird. Die Programme der einzelnen Subdetektoren können so auf einem gemeinsamen Fundament aufgebaut und müssen nur noch wenig für die individuellen Bedürfnisse modifiziert werden.

Die von der Slow-Control ausgelesenen Daten werden in einer zentralen Datenbank gespeichert. Von dort können sie von allen Subdetektoren wieder ausgelesen und weiterverarbeitet werden. Auf die Datenbank wird in Kapitel 4.1.2 eingegangen.

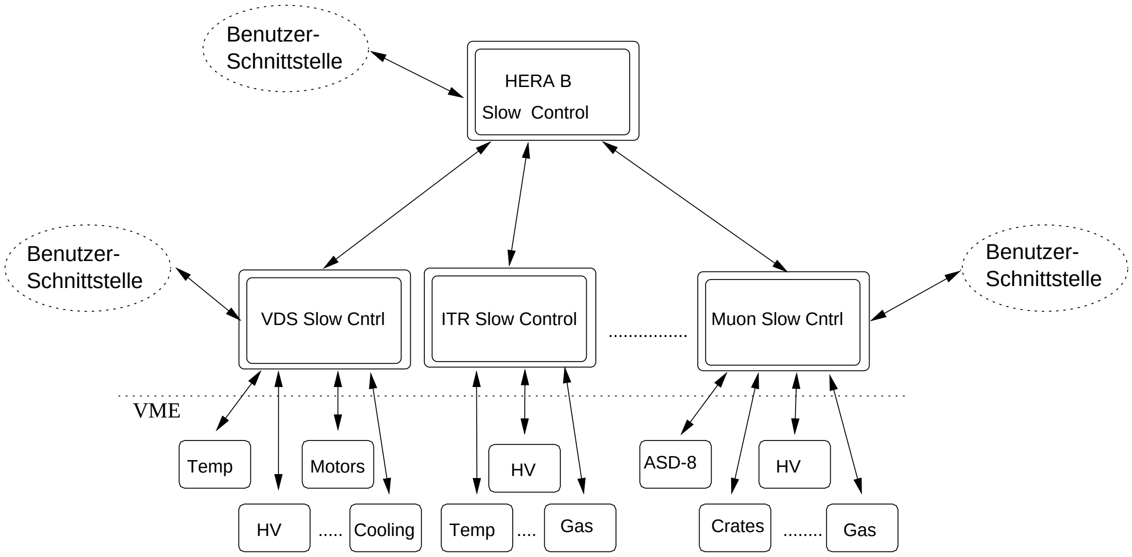


Abbildung 4.1: Die Baumstruktur der Slow-Control [45]. Die doppelt gerahmten Kästchen symbolisieren die Kontrollknoten auf oberer Ebene. Der Benutzer kann über eine Benutzeroberfläche eingreifen. Die einfach gerahmten Kästchen stehen für die Parameter-Kontroll-Prozesse. Diese haben direkten Zugriff auf die Hardware. Mit den Pfeilen wird der Informationsaustausch zwischen den Prozessen dargestellt.

In Abbildung 4.1 ist die Baumstruktur der HERA-*B*-Slow-Control dargestellt. Sie ist hierarchisch aufgebaut. Von der zentralen Slow-Control aus werden die Slow-Control-Programme der einzelnen Subkomponenten gestartet und gesteuert. Die Pfeile deuten den Informationsfluß zwischen den Prozessen an. Diese Kommunikation läuft über RPM, ein Nachrichten-Protokoll, welches für HERA-*B* entwickelt wurde. Es wird in Kapitel 4.1.3 vorgestellt.

Der Hardwarezugriff findet auf der Ebene der Parameter-Kontroll-Prozesse statt und ist in Abbildung 4.1 mit einfach gerahmten Kästchen dargestellt. Diese Prozesse laufen auf den VME-CPUs[1]. Hier wird die Hardware gesteuert und überwacht. Die Parameter werden in die Datenbank geschrieben. Falls sie außerhalb der normalen Betriebsparameter liegen, wird ein Alarm oder eine Warnung ausgelöst. Die Prozesse können in den Ablauf eingreifen und Parameter verändern. Auf die Parameter-Kontrolle wird in Kapitel 4.1.2 eingegangen.

Die doppelt gerahmten Kästchen stehen für die Kontrollknoten auf oberer Ebene (englisch: Higher Level Control Node). Der Benutzer hat die Möglichkeit, über eine Benutzeroberfläche einzugreifen (englisch: User Interface, UI; in Abbildung 4.1 mit runden Symbolen eingezeichnet). Die Oberflächen sind graphisch und in Tcl[2] geschrieben (englisch: Graphi-

[1]Computer, die über den VME-Bus direkten Zugriff auf die Hardware haben
[2]Tool Command Language/Tool Kit

cal User Interface, GUI). Tcl/Tk ist eine Skript-Programmiersprache, die Elemente wie Knöpfe, Regler und Rahmen enthält. Hier können der Status des Systems abgelesen, die Parameter angezeigt und auf Knopfdruck Kommandos erteilt werden.

Ein typisches Kommando ist zum Beispiel der Befehl, die Hochspannung auf den vorgesehenen Wert für den Betrieb des Detektors zu setzen, so daß eine Datennahme sinnvoll ist. Dieser Befehl wird von der HERA-*B*-Slow-Control an die verschiedenen Subsysteme geschickt. Die Subsysteme geben diesen Befehl dann weiter an die Parameter Kontrolle, wo der Zugriff auf die Hardware stattfindet.

Informationen über den Zustand der Hardware bzw. des Systems gehen den umgekehrten Weg in der Hierarchie wie Kommandos. Von den Parameter-Kontroll-Prozessen werden Zustandsnachrichten an die Slow-Control der Subsysteme gesendet. Dort werden die Nachrichten all dieser Prozesse gesammelt, der Gesamt-Zustand wird evaluiert und als Information an die HERA-*B*-Slow-Control geleitet. Eine Datennahme wird erst dann gestartet, wenn alle Kontrollknoten der Subdetektoren die Bestätigung weitergeleitet haben, daß sie in einem Zustand sind, der die sinnvolle Datennahme erlaubt.

Um die Vielzahl der Parameter handhaben zu können, ist jeder Kontrollknoten als Zustandsmaschine aufgebaut. Damit alle Subdetektoren zentral gesteuert werden können, muß diese einheitlich sein. Das Konzept einer Zustandsmaschine wird in Kapitel 4.1.1 näher erläutert.

In der endgültigen Version werden alle Benutzer-Eingriffe nur von der zentralen Slow-Control aus vorgenommen. Es besteht aber für jeden Subdetektor die Option, eine eigenständige Version der Slow-Control zu verwenden (die sogenannte "Stand Alone"-Version) und nicht von der zentralen Slow-Control aus gesteuert zu werden. Das erleichtert das Auffinden von Fehlern in der Software und erlaubt es dem entsprechenden Subsystem, leichter Probleme mit der Hardware zu untersuchen.

Die Konzepte und das Handwerkszeug der Slow-Control bei HERA-*B* werden in folgenden Kapitel 4.1 vorgestellt. Das Kapitel 4.2 beschäftigt sich mit dem Hochspannungs-System des Inneren Spurkammersystems, das von der Slow-Control gesteuert wird. Hierbei werden zunächst die Hardware-Komponenten und die Architektur des Systems vorgestellt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Software des Hochspannungs-System um entscheidende Eigenschaften, wie das kontrollierte Hochfahren der Spannungen erweitert.

4.1 Konzepte der Slow-Control

Damit all die oben genannten Ansprüche befriedigt werden, wurden bei HERA-*B* schon bewährte Konzepte verwendet, wie zum Beispiel das Prinzip einer Zustandsmaschine. Es wird in Kapitel 4.1.1 vorgestellt. Einige Anwendungen wurden speziell neu entwickelt. Auf das bei HERA-*B* verwendete Nachrichtenprotokoll wird in 4.1.3 eingegangen, und die Kontrolle der Parameter (englisch: System Parameter Control, SPC), welche von der Slow-Control überwacht werden, wird in Kapitel 4.1.2 erklärt.

4.1.1 Zustandsmaschine

Der allgemeine Begriff einer Zustandsmaschine wird im folgenden vorgestellt. Nach der Einführung wird im Speziellen auf die Zustandsmaschine bei HERA-*B* sowie auf die Zustände des HERA-*B*-Detektors eingegangen.

Prinzip einer Zustandmaschine

Im allgemeinen ist jedes Gerät, das den Zustand eines Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt speichert und beeinflussen kann, eine Zustandsmaschine (englisch: State Machine). Zum Beispiel ist jeder Computer eine Zustandsmaschine. Mit einer Eingabe können ein oder mehrere Zustände geändert und weitere Änderungen indirekt hervorgerufen werden. Im Datenspeicher wird der Zustand gespeichert. Jede Anwendung auf einem Computer wird in einem Anfangszustand, dem *Initial-Zustand* gestartet. Dieser kann sich ändern, sobald Eingaben verarbeitet werden [43]. Somit kann der Zustand eines Computers zu jedem Zeitpunkt als ein sehr komplexer Satz von Zuständen beschrieben werden, wobei jede Anwendung für sich ebenfalls eine Zustandsmaschine ist.
Eine Zustandsmaschine ist folgendermaßen definiert:

- Es gibt einen Satz von Zuständen.
- Es gibt eine Beschreibung des Anfangzustandes.
- Es gibt einen Satz von Ereignissen, die eingegeben werden können (Eingaben).
- Es gibt einen Satz von Ereignissen, die erzeugt werden können (Ausgaben).
- Es gibt eine Funktion, die Zustände und Eingaben auf Ausgaben abbildet.
- Es gibt eine Funktion, die Zustände und Eingaben auf Zustände abbildet.

Wenn der Satz der Zustände, die das System vollständig beschreiben, endlich ist, so wird die Zustandsmaschine endlich genannt (englisch: Finite State Machine). Eine Zustandsmaschine darf per Definition jedoch auch eine unendliche Anzahl von Zuständen haben. Allerdings ist eine endliche Zustandsmaschine sehr viel praktikabler.

Ereignisse

Wenn ein Ereignis auftritt, dann reagiert das Objekt, das durch die Zustandsmaschine beschrieben wird, mit einer Änderung seines Zustandes. Diese Änderung ist abhängig sowohl vom aktuellen Zustand als auch vom Ereignis. In Abbildung 4.2 ist ein einfacher Fall dargestellt, in dem das System sich durch ein Ereignis a vom Zustand 1 in den Zustand 2, oder durch Ereignis b in Zustand 3 bewegt.

Der Wechsel von einem Zustand in den anderen wird Zustandsübergang genannt (englisch: State Transition).

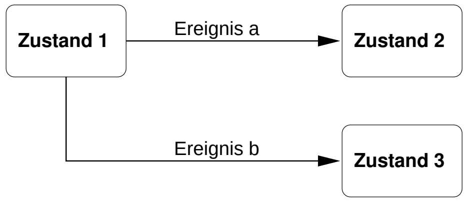


Abbildung 4.2: Das Auftreten eines Ereignisses führt zur Änderung des Zustandes des Systems.

Durch den Übergang eines Systems in den nächsten Zustand können automatisch weitere Ereignisse ausgelöst werden.

Zustandsübergänge Der Übergang von einem Zustand in den nächsten kann auf verschiedene Weise interpretiert werden.

- Der Vorgang der Zustandsänderung wird keinem tatsächlichen Zustand zugeordnet, sondern hat als Übergang einen gesonderten Status. Der Übergang benötigt einen gewissen Zeitraum, währenddessen sich das System in keinem definierten Zustand befindet.
- Das System befindet sich jederzeit in einem wohldefinierten Zustand. In diesem Fall wird der Vorgang des Zustandsüberganges entweder dem alten Zustand, der gerade verlassen wird, oder dem neuen Zustand, in den sich das System begibt, zugeordnet. Der Wechsel zwischen zwei Zuständen findet damit instantan statt.

Das erste Modell hat eine konzeptionelle Schwäche, denn während der Ausführung eines Übergangs ist das System in keinem definierten Zustand. Das widerspricht der intuitiven Sichtweise, daß sich jedes System immer in einem Zustand befindet. Die Kontrolle über das System ist ausgesetzt, solange es sich in einem Übergang, also einem undefinierten Zustand befindet.

Trotz dieser Schwierigkeiten wurde für die Slow-Control bei HERA-*B* das erste Modell benutzt. Für die Slow-Control der Inneren Spurkammern gab es zwei Möglichkeiten: Entweder wird das einheitliche Konzept übernommen, oder ein völlig neues Konzept wird entwickelt. Ein neues Konzept könnte einerseits auf einem durchsichtigeren Grundprinzip basieren und direkt auf die Bedürfnisse des Detektors zugeschnitten sein, wäre aber andererseits mit einer längeren Entwicklungsphase verbunden, denn es könnte nicht auf schon vorhandenen Programme zurückgegriffen werden.

Damit die gesamte Slow-Control einheitlich bleibt, wurde für das Innere Spurkammersystem ebenfalls das erste Modell zugrundegelegt.

Zustandsmaschine bei HERA-*B*

Zur Umsetzung des oben erwähnten Prinzips einer Zustandsmaschine bei dem Experiment HERA-*B* wurde ein Software-Paket für die Kontrolle der Zustandsmaschine entwickelt (englisch: State Machine Control, SMC), das von von allen HERA-B-Komponenten, sowohl für die Slow-Control, als auch für das Fast-Control-System (FCS) und die Datenerfassung (DAQ, Data Acquisition), verwendet wird. Alle Prozesse der Slow-Control, die in Abbildung 4.1 zu sehen sind, sind als Zustandsmaschinen aufgebaut. Die Prozesse der Parameter-Kontrolle (einfach gerahmte Kästchen) senden eine Nachricht über ihren Zustand, der alle Parameter der Hardware zusammenfaßt, an die hierarchisch höher liegenden Kontrollknoten, wo er gespeichert, mit den Zuständen der anderen Parameter-Kontroll-Prozesse verglichen und an die HERA-B-Slow-Control weitergeleitet wird.

Damit können alle Subsysteme von der zentralen Slow-Control gesteuert werden, ohne daß dort spezifische Informationen über die Parameter der Detektorkomponenten bekannt sein müssen. Der gesamte Detektor läßt sich so durch seinen Zustand beschreiben. Wenn der Gesamtzustand auf "ON" ist (das entspricht "betriebsbereit"), ist es für das Gesamtsystem unwichtig, wie die einzelnen Parameter der Subdetektoren eingestellt sind, wichtig ist nur, daß der Detektor nun betriebsbereit ist und damit die Datennahme sinnvoll ist. Dies stellt besondere Anforderungen an das Paket [42].

Zustände

Die folgenden Zustände für den HERA-B-Detektor sind in ihren Eigenschaften klar definiert [29]:

- **STOP** Der zur graphischen Benutzerschnittstelle gehörende VME-Prozeß ist nicht vorhanden. Entweder wurde das Programm noch nicht gestartet oder schon verlassen.
- **INITIALIZE** Der Prozeß wurde initialisiert, aber es ist nicht sichergestellt, daß benötigte Server existieren. Der Zustand der Hardware ist nicht bekannt.
- **CONFIGURE** Die Konfigurationsparameter werden von der Datenbank eingelesen und auf die Hardware übertragen, zum Beispiel die maximale zulässige Spannung und die Geschwindigkeiten, mit denen die Hochspannungen hoch- und runtergefahren werden. Die tatsächliche Konfiguration der Hardware wird bewertet und der Prozeß geht dementsprechend automatisch in den passenden Zustand über.
- **OFF** Die Hochspannung ist ausgeschaltet.
- **SOMETHING_ON** Dieser Zustand trägt der Tatsache Rechnung, daß die tatsächlich anliegende Hochspannung nicht immer den wohldefinierten Werten für "OFF", "ON" oder "INJECTION" entsprechen muß, trotzdem aber eingeschaltet ist. Im Zustand "SOMETHING_ON" liegt ihr Wert entweder zwischen den beiden definierten Zuständen "OFF" und "INJECTION", oder es sind nicht alle Kanäle eingeschaltet. Dieser Zustand kann nicht vom Benutzer angewählt werden. Man kann das System aber durch manuelles Einschalten einiger Kanäle, oder Setzen einer niedrigen Spannung in diesen Zustand versetzen. Ein Überstrom, der zu einer automati-

schen Abschaltung eines Hochspannungskanals geführt hat, erzeugt ebenfalls diesen Zustand.

- **INJECTION** Die Hochspannung ist angelegt, hat aber nicht den endgültigen Betriebswert. Für die Inneren Spurkammern bedeutet das, daß keine Gasverstärkung stattfindet. Damit kann für die Hardware kein Schaden entstehen, wenn HERA Protonen oder Positronen in den Ring injiziert. Der Protonenstrahl kann während der Injektion der Teilchen in den Speicherring nicht zuverlässig auf seiner Soll-Position gehalten werden und dadurch können unkontrollierte Teilchendurchgänge durch den Detektor entstehen. Dieser Zustand ist deshalb wichtig, weil es eine große Zeitersparnis bedeutet, wenn der Detektor zwischen zwei Speicherring-Füllungen nicht komplett ausgeschaltet werden muß, sondern nur in einen "stand by"-Modus gebracht wird.

- **ON** Der Detektor ist betriebsbereit und sinnvolle Datennahme ist möglich. Die Spannungen und alle anderen andere Parameter, die eine Funktion des Zustandes sind, haben ihren Betriebswert erreicht.

- **ON_NOT_READY** Die Hochspannung ist angeschaltet, ihr Wert liegt jedoch zwischen den beiden definierten Zuständen "INJECTION" und "ON". Damit ist dies ein ähnlicher Zwischenzustand wie "SOMETHING_ON" und wird auf die gleiche Weise erreicht.

- **ERROR** Eine Situation ist eingetreten, die nicht mehr kontrolliert werden kann. Ein Grund dafür wäre, daß die Verbindung zwischen Prozeß und Hardware abgebrochen ist. Der Benutzer muß eingreifen, um den Prozeß aus diesem Zustand wieder herauszuholen. Falls die Hardware nach einiger Zeit wieder in einem definierten Zustand ist, kann das System durch einen Zustandsübergang nach **CONFIGURE** wieder in einen normalen Zustand gebracht werden, und dieser wird angezeigt. Ist der Hardware-Zustand jedoch weiterhin kritisch oder ist die Verbindung nicht vorhanden, so muß der Prozeß neu gestartet werden.

Jeder Subdetektor muß die Parameter seines Systems so anpassen, daß deren Eigenschaften auf die oben genannten Zustände eindeutig abgebildet werden können. Am Beispiel des Inneren Spurkammersystems ist das im nächsten Abschnitt dargestellt.

Parameter

Alle Subdetektoren werden von der zentralen Slow-Control aus gesteuert und verwenden dieselben Zustände. Jeder Subdetektor hat deshalb für jeden Zustand einen Satz von Parametern, die den Zustand detektorspezifisch beschreiben.

Für die Hochspannungsversorgung des Inneren Spurkammersystems ist es wichtig, welche Spannungen angelegt werden dürfen, wo der Grenzwert des Stromes liegt, der maximal durch die Kammern fließen darf, und wie schnell die Spannungen geändert werden können. All diese Werte sind in Konfigurationsdateien gespeichert. Im Anhang A in Abbildung

Parameter	OFF	INJECTION	ON
Hochspannung Driftelektrode in V	0	-1000	-2400
Hochspannung Kathode in V	0	-250	-490

Tabelle 4.1: Die einzigen Parameter der Hochspannungskontrolle des Inneren Spurkammersystems, die sich mit den Zuständen ändern, sind Driftelektroden- und Kathodenspannungen. Diese sind hier aufgelistet. Der Zustand der GEM geht noch nicht in den globalen HV-Zustand ein.

A.1 ist eine Konfigurationsdatei für die Hochspannungskontrolle zu sehen. Eine genaue Beschreibung der Dateien ist in Kapitel 5.2 zu finden.

Für die Inneren Spurkammern unterscheiden sich die Zustände der Hochspannungskontrolle nur in dem Wert der Spannungen für Driftelektrode und Kathode, siehe Tabelle 4.1. Alle anderen Parameter sind für jeden Zustand gültig. Zum Beispiel ändert sich die Geschwindigkeit, mit der eine Spannung erhöht werden darf, nicht mit dem erreichten Zustand. Wenn also ein Zustandsübergang befohlen wird, werden die Hochspannungswerte angepaßt. Sobald die jeweiligen Sollspannungen für Driftelektrode und Kathode erreicht sind, ist der Übergang vollzogen.

Abhängigkeiten der Zustände

Der Zustand eines Kontrollknoten auf höherer Ebene ist abhängig vom Zustand aller ihm unterliegenden Prozesse [42]. Es muß eine eindeutige Vorschrift existieren, die genau regelt, welche Kombination von Zuständen der unterliegenden Prozesse zu welchem Zustand des Kontrollknotens führt.

Normalerweise gibt es verschiedene Parameter-Kontroll-Prozesse für ein Subsystem, zum Beispiel zur Gas-Steuerung, HV-Steuerung oder Temperatur-Steuerung (siehe 4.1), die jeweils abhängig sind vom Zustand der Hardware. Aus deren Zuständen ergibt sich der Zustand des Subsystems. Die Zustände aller Subsysteme gemeinsam bilden sich auf den Gesamt-Zustand der HERA-*B*-Slow-Control ab.

Dies ist in Abbildung 4.3 dargestellt. Die Vorschrift für die Abhängigkeiten der Zustände voneinander findet sich in den sogenannten State-Dependance-Tables (kurz: SDT).

Die einzelnen Hardware-Zustände können für die Subdetektoren oder die verschiedenen Parameter-Kontroll-Prozesse sehr verschiedene Eigenschaften haben. Bei einem mechanisch verstellbaren Detektor muß zum Beispiel seine Position eine Funktion des Zustandes sein, während das für das Innere Spurkammersystem nicht sinnvoll ist, da die Kammern nach ihrer endgültigen Installation nicht mehr bewegt werden. Aber all diese Eigenschaften müssen eindeutig einem Zustand zugeordnet werden können. Ein anderes Beispiel ist

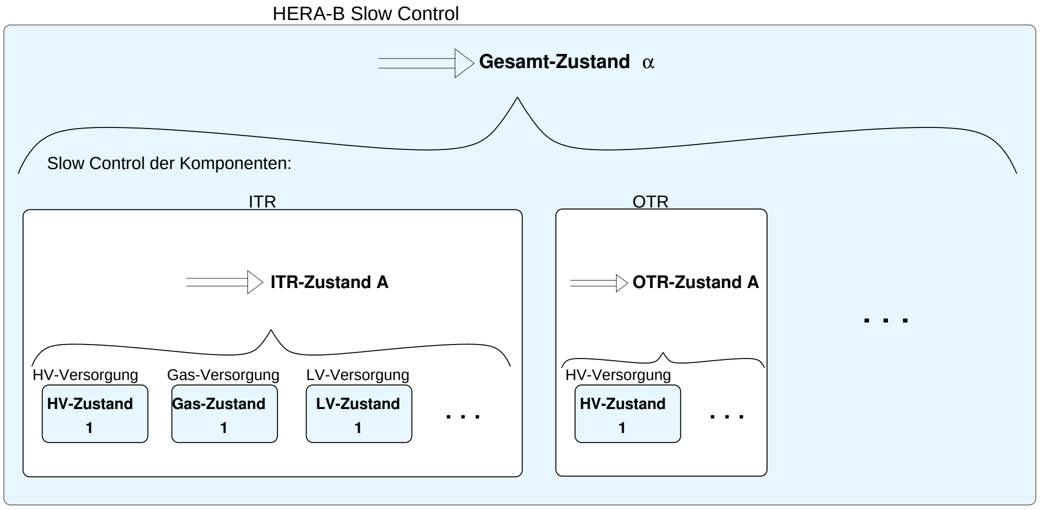


Abbildung 4.3: Der Zustand eines Kontrollknoten ist abhängig vom Zustand aller darunterliegenden Prozesse. Deren Zustände müssen sich eindeutig auf einen Gesamtzustand abbilden lassen. Der Zustand des Kontrollknotens des Inneren Spurkammersystems (im Bild ITR-Zustand A) ergibt sich aus den Zuständen aller ihm unterliegenden Prozesse (HV-Versorgung, Gas-Versorgung, ..). Der Zustand der HERA-*B* Slowcontrol ergibt sich wiederum aus der Zusammenfassung aller Zustande der Kontrollknoten. Im Bild sind als Beispiel nur die Kontrollknoten für das Innere und das Äußere Spurkammersystem (OTR) eingezeichnet.

das Gassystem des Inneren Spurkammersystems. Es ist immer eingeschaltet, das heißt, es fließt ständig Gas durch die Kammern, also machen hier die verschiedenen Zustände der Zustandsmaschine keinen Unterschied im Hardware-Zustand.

Übergänge

Von der zentralen Slow-Control werden die Zustände der Subdetektoren vorgegeben. Die zentrale Slow-Control geht erst dann in einen neuen Zustand über, wenn alle Subdetektoren in den passenden Zustand übergegangen sind.

Der Befehls- und Informationsfluß der Slow-Control verläuft in zwei Richtungen: Von oben nach unten werden Befehle geschickt. Die zentrale Slow-Control sendet Befehle zur Zustandsänderung an die Slow-Control der Subsysteme. Diese leiten den Befehl weiter an die Parameter-Kontroll-Prozesse, wo der Hardware-Zugriff stattfindet.

Von unten nach oben findet der Informationsfluß statt. Sobald alle Parameter-Kontroll-Prozesse sich in dem neuen Zustand befinden, wechselt auch die Slow-Control des Subsystems ihren Zustand und schickt eine Nachricht über den erfolgreichen Wechsel des Zustands an die zentrale Slow-Control. Wenn alle Subsysteme in den neuen Zustand übergegangen sind, wechselt auch die zentrale Slow-Control ihren Zustand. Nun kann der Befehl für einen neuen Zustandswechsel gesandt werden.

Wie der Übergang eines Subdetektors konkret verläuft, kann von den Komponenten selbst bestimmt werden, und es kann definiert werden, von wo nach wo ein Übergang möglich ist. Zu diesem Zweck muß jedes Subsystem für sich eine Zustands- und eine Zustandsübergangs-Tabelle definieren. Ihrem englischen Namen entsprechend (State Transition Table) werden sie *stt*-Tabellen genannt. Je ein Beispiel für die *stt*-Tabellen für ein vereinfachtes System mit vier Zuständen ist in Abbildung 4.4 zu sehen.

In der Zustands-Tabelle (Teil a)) sind die möglichen Zustände des zugehörigen Prozesses zusammengefaßt. In der Zustandsübergangstabelle (Teil b)) steht, welche Übergänge zwischen den Zuständen erlaubt sind. Wenn die dritte Spalte leer ist, geschieht der Übergang direkt, sonst darf der Übergang nur über den dort angegebenen Zustand erfolgen. Im Beispiel kann das System nicht direkt von "OFF" nach "ON" übergehen, sondern muß über den Zustand "INJECTION" gehen.

Die Syntax dieser Tabellen ist in [42] nachzulesen. Für die höher liegenden Kontrollknoten muß eine Tabelle existieren, die den Zustand all seiner Unter-Prozesse abbildet auf den Zustand des Knotens. Beim Start eines Prozesses wird untersucht, ob die verwendeten Tabellen in sich konsistent sind.

Als Beispiel sei hier genannt, daß der gesamte HERA-B -Detektor, der sich momentan im Zustand "OFF" befinde, betriebsbereit gemacht werden soll, sobald die Strahlbedingungen bei HERA das erlauben. Also kommt von der zentralen Slow-Control der Befehl "gehe nach "ON"". Die Subsysteme leiten diesen Befehl weiter an deren Parameter-Kontrollen. Daraufhin wird anhand der Zustandsübergangstabelle bestimmt, auf welchem Weg der neue Zustand erreicht werden soll. In diesem Beispiel muß der Detektor zuerst in den Zustand "INJECTION" gebracht werden, bevor der Übergang nach "ON" stattfinden kann.

Sobald die Hardware sich im Zustand "ON" befindet, geht die Nachricht den umgekehrten Weg zurück bis zur zentralen Slow-Control. Sobald von allen Subsystemen das

a)

Zustände

4
INITIALIZE
OFF
INJECTION
ON

4def.stt

b)

Zustandsübergänge

8		
INITIALIZE	OFF	
OFF	INJECTION	
OFF	ON	INJECTION
OFF	INITIALIZE	
INJECTION	ON	
INJECTION	OFF	
ON	OFF	
ON	INJECTION	

4.stt

Abbildung 4.4: Beispiel einer Zustands- und einer Zustandsübergangstabelle für ein System mit 4 Zuständen. In der Definitions-Tabelle a) werden die Zustände deklariert. In der Tabelle b) werden die möglichen Übergänge definiert. Die erste Spalte beschreibt den Ausgangszustand, die mittlere den Endzustand. In der letzten Spalte steht der Zwischenzustand, den das System zuerst durchlaufen muß, bevor es den Endzustand erreichen kann. Ist die letzte Spalte leer, so ist ein direkter Übergang möglich; hier im Beispiel ist der Übergang von "INITIALIZE" nach "OFF" direkt, während das System auf dem Weg von "OFF" nach "ON" immer über "INJECTION" geht.

Erreichen des neuen Zustandes bestätigt wurde, kann mit der Datennahme begonnen werden.

4.1.2 Parameter-Kontrolle des Systems

Die Aufgabe der Slow-Control ist es, den sicheren Betrieb des Detektors zu ermöglichen. Im Rahmen der Slow-Control findet mit der Parameter-Kontrolle der direkte Zugriff auf die Hardware statt. Die steuernden Prozesse bewältigen gleichzeitig mehrere Aufgaben und müssen eine Vielzahl von Kanälen steuern. Im folgenden wird das Prinzip erläutert, das hinter der Parameter-Kontrolle bei HERA-B steht und der logische Aufbau der Prozeß-Steuerung wird dargestellt.

Die Prozesse zur Parameter-Kontrolle des Systems (englisch: System Parameter Control, SPC) sind die untersten Knoten in dem Slow-Control-Baum, wie er in Abbildung 4.1 dargestellt ist. Über die Parameter-Kontroll-Prozesse erfolgt der Zugriff auf die Hardware. Hier werden Parameter in die Hardware geschrieben und aktuelle Werte werden ausgelesen. Die Aufgaben dieser Prozesse sind für alle Subsysteme sehr ähnlich [54]:

- Die Parameter des Systems müssen gesetzt werden. In den Konfigurationsdateien sind alle Werte gespeichert, die an die Hardware übergeben werden, wie zum Beispiel Sollspannungen, Obergrenzen für Stromwerte und ähnliches. Auf diese Dateien wird in diesem Kapitel noch genauer eingegangen.
- Die Parameter müssen wieder aus der Hardware ausgelesen werden und mit Warnungs- und Alarmgrenzen verglichen werden. Wenn diese Werte überschritten werden, soll eine Warnung oder ein Alarm ausgelöst werden.
- Die ausgelesenen Werte werden in einer Datenbank gespeichert.
- Der Benutzer soll in der Lage sein, unabhängig von den in den Konfigurationsdateien gespeicherten Daten, andere Werte einzusetzen.
- Der Benutzer will jederzeit Einblick in die aktuellen Parameterwerte haben.

Diese Funktionalitäten müssen unabhängig von Detektor-Typ und Hardware-System gegeben sein.

Die SPC-Software bietet den Rahmen für alle Anwendungen der Subsysteme bei HERA-B. Sie empfängt Kommandos von den Kontrollknoten auf höherer Ebene oder von einer Benutzerschnittstelle und übersetzt diese in eine Systemantwort. In Abbildung 4.5 ist dies dargestellt. Die Befehle, die vom Benutzer über die Benutzerschnittstelle (im Bild oben links) eingegeben und über ein Nachrichtenprotokoll weitergeleitet werden, müssen auf eine bekannte Funktion abgebildet werden, damit der Befehl interpretiert werden kann. Auch die allgemeinen Kommandos zu Zustandsübergängen, die von der Slow-Control kommen, müssen in System-spezifische Befehle umgewandelt werden, damit das System auf diesen Befehl reagieren kann. Die Zuordnungen der Kommandos von der Benutzer-Schnittstelle und der Zustandsmaschine übernimmt ein Kommando-Interpreter. Dieser greift direkt auf

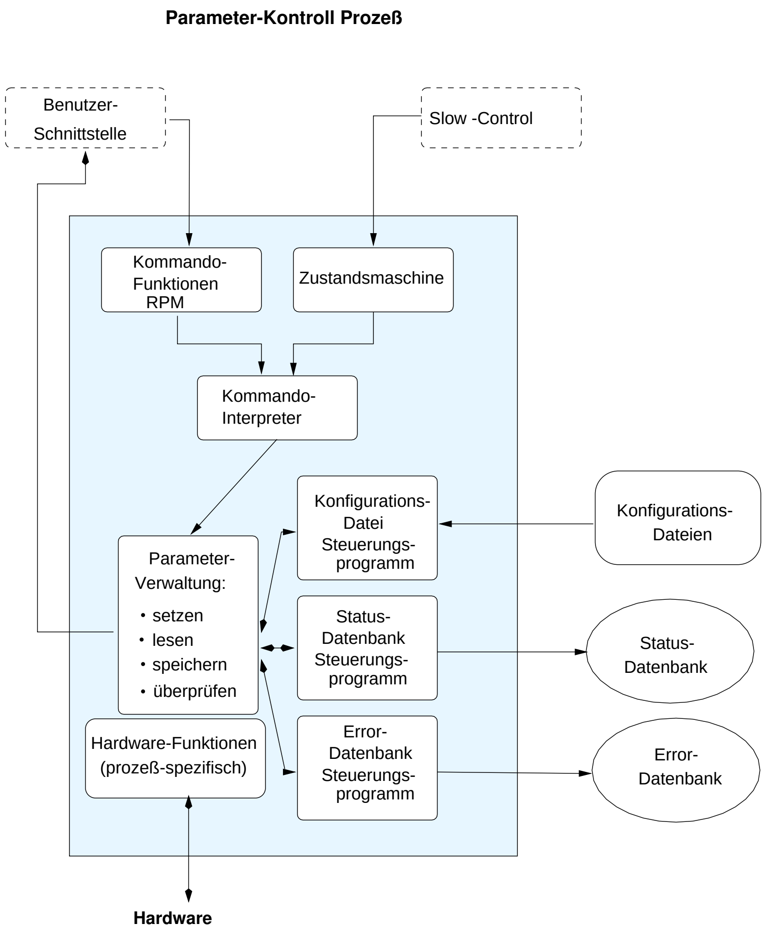


Abbildung 4.5: Die Parameter-Kontrolle hat die Aufgabe, die Parameter der Hardware zu setzen und zu überwachen. Die Kommandos an die Parameter-Kontrolle kommen entweder von einer Benutzerschnittstelle oder von der Slow-Control. Um Funktionen ausführen zu können ist ein Kommando-Interpreter nötig. Dieser bildet abstrakte Kommandos auf systemspezifische Befehle ab. Er steuert direkt die Parameter-Verwaltung, von der aus auf die Hardware zugegriffen wird, Informationen an das GUI übertragen werden und alle Datenbank-Prozesse gesteuert werden. In der Status- und der Error-Datenbank wird der momentane Zustand der Hardware gespeichert. Die Konfigurations-Dateien werden ausgelesen.

die Parameter-Verwaltung zu. Von hier aus wird mit Hilfe von Steuerungsprogrammen auf die Datenbanken (siehe 4.1.2) und die Hardware zugegriffen.

Für HERA-B wird ein ereignisgesteuertes (englisch: event driven) Konzept verwendet. Auf Ereignisse wird im übernächsten Abschnitt eingegangen.

Die Grundstruktur der SPC-Software stellt einen Rahmen zur Verfügung, der von den Programmierern der Subsysteme mit Leben gefüllt wird.

Steuerungs- und Überwachungsdateien

Die Parameter-Kontroll-Prozesse laden die Werte für die Kontrolle der Hardware über Dateien ein, die allgemein unter dem Schlagwort Konfigurationsdateien zusammengefaßt werden. Jeder Prozeß benötigt zwei Dateien. In einer Datei sind Betriebsdaten, die sogenannten Konfigurationsparameter gespeichert. Diese Datei wird wie der Überbegriff beider Dateien auch Konfigurationsdatei genannt. In der anderen Datei sind alle zur Überwachung des richtigen Betriebsbereiches der Hardware wichtigen Parameter gespeichert. Diese wird Monitor-Datei genannt.

Die Dateien können leicht editiert werden. Sie enthalten für jeden Kanal alle Parameter, die zum Betrieb des Detektors gebraucht werden. In der Konfigurationsdatei der Hochspannungskontrolle der Inneren Spurkammern sind zum Beispiel für jeden einzelnen Kanal separat die End-Spannung und der maximal zulässige Spannungswert gespeichert. Somit können einzelne Kanäle gesondert behandelt werden. Auf die Dateien wird näher in Kapitel 5.2 eingegangen.

Für die Schichtbesatzung ist die Kenntnis dieser Dateien nicht nötig. Nachdem die Dateien einmal von einem Experten geschrieben worden sind, braucht sich der Benutzer nicht mehr darum zu kümmern. Falls kurzfristige Änderungen vorzunehmen sind, können die Parameter einzelne Kanäle oder Kanal-Gruppen über die Benutzer-Schnittstelle geändert werden.

Ereignis-Steuerung

Bei dem komplexen Aufbau des Slow-Control-Systems werden hohe Anforderungen an die steuernde Software gestellt. Die Parameter-Kontroll-Prozesse müssen auf unterschiedlichste äußere und innere Einflüsse reagieren. Das regelmäßige Auslesen des Hardware-Systems wird über Timer geregelt, Kontrollknoten auf höherer Ebene schicken Befehle und müssen Informationen über den Zustand erhalten. Das alles geschieht gleichzeitig. Beispielsweise kann ein Timer ablaufen, der die System-Logik dazu bringt, die Hardware auszulesen, und gleichzeitig kommt von einem höheren Kontrollknoten der Befehl, den Zustand zu wechseln.

Um allen Anforderungen möglichst übersichtlich gerecht zu werden, wurde für HERA-*B* eine System-Logik auf der Basis einer Ereignis-Steuerung zugrundegelegt. Dieses Konzept soll im folgenden erläutert werden. Jede Anfrage eines Kontrollknotens oder einer Benutzerschnittstelle, ebenso wie eines abgelaufenen Timers, erzeugt ein Ereignis. Dieses Ereignis wird in einer Liste mit allen anderen aufgetretenen Ereignissen gespeichert und wird zu gegebener Zeit von der Parameter-Kontrolle verarbeitet.

Dabei können mehrere solcher Ereignisse gleichzeitig auftreten. Es wird aber immer eins nach dem anderen abgearbeitet und zwar geordnet in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit. Mit einer einfachen Logik für die Sortierung und Abarbeitung von Ereignissen kann gesteuert werden, wie und in welcher Reihenfolge die Ereignisse prozessiert werden.

Es gibt zwei verschiedene Arten von Ereignissen:

1. Die Daten eines Kanals haben sich geändert. Mögliche Ursachen können sein, daß der Benutzer über ein GUI den Wert eines Parameters geändert hat. Außerdem sind manche Parameter zeitlichen Schwankungen unterworfen. Spannungen können driften. Temperatur und Luftdruck sind nicht konstant. Das kann auf manche Parameter einen Einfluß haben. Ist eine Änderung aufgetreten, erzeugt sie ein Ereignis. Die Reaktion auf ein solches Ereignis kann zum Beispiel sein, den neuen Wert in die Datenbank zu schreiben.

2. Es sollen bestimmte Operationen ausgeführt werden. Ein Ereignis wird erzeugt, um das System dazu zu bringen, eine Änderung vorzunehmen oder eine Funktion auszuführen. Ein Beispiel für eine solche Operation ist ein Zustandswechsel. Auch abgelaufene Timer erzeugen ein Ereignis. In regelmäßigen Zeitabständen müssen kritische Parameter, wie die Hochspannung, überprüft werden. Auf ein Ereignis dieser Art kann die Reaktion sein, Parameter anzupassen oder Parameter aus der Hardware auszulesen.

Bei der Verarbeitung eines Ereignisses wird jeweils die passende Funktion aufgerufen [46]. Damit kann das System auf die verschiedenen Anforderungen reagieren.

Ereignis-Struktur

Alle aufgetretenen Ereignisse werden nach ihrer Wichtigkeit geordnet in einer Struktur gespeichert. Dort stehen sie solange, bis sie der Reihe nach abgearbeitet werden. Von einem bestimmten Ereignis-Typ kann immer nur ein einziges Ereignis in dieser Struktur gespeichert werden. Das Ereignis "die Werte für Hochspannungs-Parameter eines Kanals haben sich geändert" kann zum Beispiel nur einmal in der Ereignisstruktur stehen, auch wenn der Benutzer dieses Ereignis durch mehrmaliges Ändern von Parametern zweimal ausgelöst hat. Es kann nicht ein zweites Mal erzeugt werden, solange das erste noch nicht abgearbeitet wurde. Allerdings können einem schon generierten Ereignis noch Kanäle angehängt werden. Das heißt, falls mit Hilfe der Benutzer-Schnittstelle zuerst die Werte für Kanal A geändert und dafür ein Ereignis erzeugt wurde, kann das Ereignis nachträglich um den Kanal B erweitert werden. Wenn das Ereignis abgearbeitet wird, werden dann gleichzeitig die Parameter für Kanal A und B geändert.

Ein Ereignis enthält ein Liste der Funktionen, die bei Abarbeitung ausgeführt werden müssen. Außerdem enthält es eine Liste der Kanäle, für die das Ereignis erzeugt wurde. In Abbildung 4.6 ist das skizziert. Ereignisse, deren Listen sinnlose Einträge enthalten oder leer sind, werden ignoriert. Darauf ist beim Erzeugen von Ereignissen zu achten.

Abarbeitung von Ereignissen

Die Prioritäten, nach denen die Ereignisse in der Liste geordnet werden, sind in der SPC-Software fest implementiert und in einer Tabelle definiert. Sie können vom Benutzer nicht verändert werden und bestimmen die System-Logik. Die Abfolge der Funktionen der SPC-Software wird von den Ereignissen und ihren Prioritäten bestimmt.

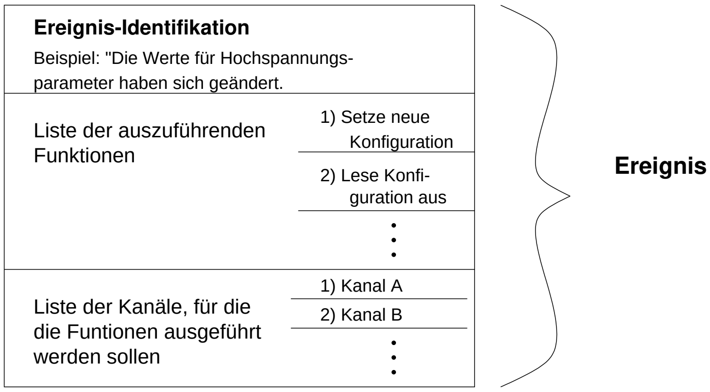


Abbildung 4.6: Ein Ereignis wird eindeutig durch seinen Namen identifiziert und wird darüber aufgerufen. Im Bild ist das Beispiel ausgeführt, daß die Hochspannungsparameter geändert wurden. In dem Ereignis ist die zu folgende Reaktion gespeichert, also die Funktionen, die aufgerufen werden, um das Ereignis auszuführen. Dabei können mehrere Funktionen ausgeführt werden. Außerdem enthält ein Ereignis in der Ereignisstruktur eine Liste der Kanäle, für die es generiert wurde. Mit jedem Aufruf des Ereignisses für einen neuen Kanal, wird die Liste um diesen Kanal erweitert.

In Abbildung 4.7 ist skizziert, wie die Ereignissen abgearbeitet werden. Dabei wurden zur Demonstration nur wenige Ereignisse herausgenommen.

Es kann immer nur ein Ereignis nach dem anderen prozessiert werden. Tritt während der Ausführung eines weniger wichtigen Ereignisses ein wichtigeres auf, muß das weniger wichtige zuerst fertig abgearbeitet werden. Deshalb sollte der Benutzer vorsichtig damit umgehen, selbst Ereignisse zu erzeugen. Eventuell verzögert sich damit der gewollte Ablauf der Ereignisse. Es kann aber auch sein, daß sein Ereignis wegen niedrigerer Priorität erst sehr viel später ausgeführt wird. Zumindest muß sich der Benutzer der Prioritäten bewußt sein. Der Benutzer kann die Ausführung eines bestimmten Ereignisses nicht forcieren. Das SPC-System entscheidet, wann ein Ereignis abgearbeitet wird und welche Funktionen aufgerufen werden. Der Vorteil einer solchen Implementierung liegt darin, daß das SPC-System dadurch viele Funktionen selbständig ausführen kann und viele oft verwendete Funktionen direkt von ihm aufgerufen werden, ohne daß sich der Programmierer darum kümmern muß. Das erleichtert die Arbeit für die einzelnen Subsysteme.

Datenbank

Einheitlich für HERA-B wird die "Table Based Data Base" verwendet, siehe [16]. Diese Bibliothek von Tabellen erlaubt es, auf die Tabellen mit Hilfe zweier Überprüfungsnummern zuzugreifen ("major" und "minor" Nummer). Die Slow-Control speichert in dieser Datenbank alle Konfigurations- und Überprüfungs-Parameter.

Die Parameter-Kontroll-Prozesse benutzen vier verschiedene Datenbanken [54]:

1. In den beiden **Konfigurations-Datenbanken** werden Kanal-Name, Hardware Beschreibung des Kanals und seine Parameter gespeichert.

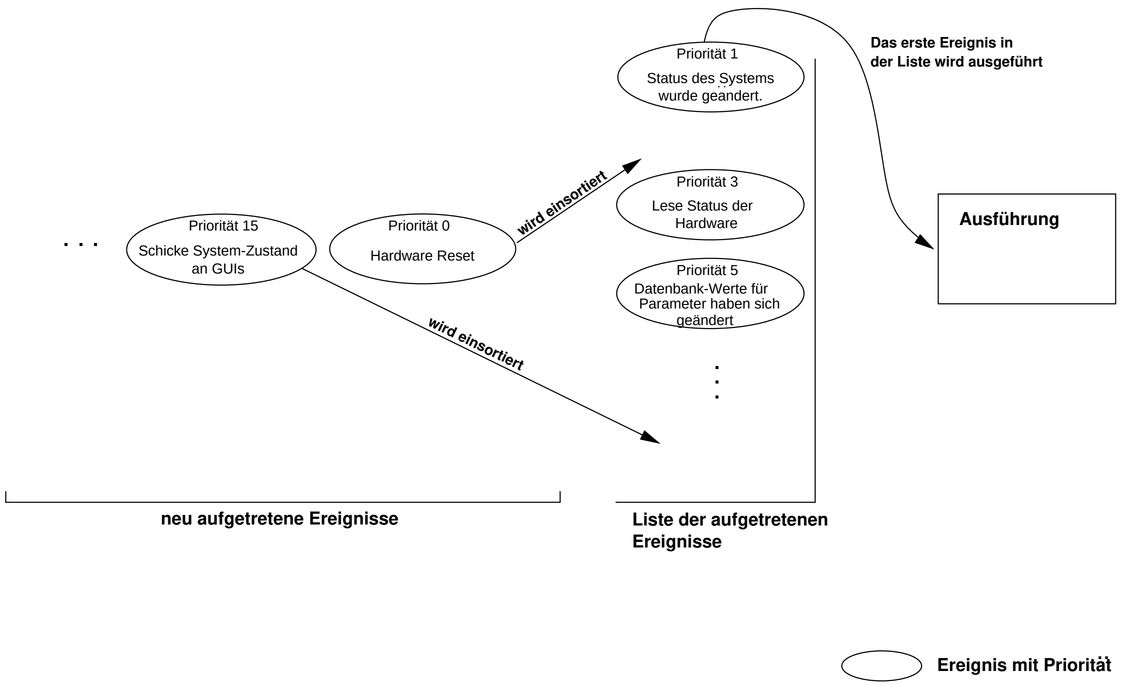


Abbildung 4.7: Die Abarbeitung von Ereignissen wird durch ihre Prioritäten bestimmt. Das Ereignis mit der Priorität Null hat dabei die höchste Wichtigkeit. Die Ereignisse werden in eine Liste einsortiert und das oberste und damit wichtigste Ereignis wird als Erstes ausgeführt. Es kann immer nur ein Ereignis verarbeitet werden, währenddessen befinden sich alle anderen Ereignisse im Wartezustand. Im Bild wird das Ereignis "Status des Systems wurde geändert", gerade ausgeführt. Auch ein Ereignis mit einer höheren Priorität, wie hier das Ereignis "Hardware Reset", kann sich nun nicht mehr vorschieben und es wird in die Liste einsortiert.

2. In der **Status-Datenbank** werden alle signifikanten Änderungen der Parameter gespeichert. Dabei wird eine gewisse Schwankung des Meßwertes um seinen Sollwert zugelassen. Diese Akzeptanz wird durch einen Toleranzbereich bestimmt. Liegen die Änderungen innerhalb des Toleranzbereiches, werden sie nicht aufgezeichnet.

3. Es gibt eine Datenbank, die Fehler aufzeichnet ("error logger"). Hier werden alle Fehler, Warnungen und Alarme gespeichert.

Alle Datenbankeinträge erfolgen automatisch. Da sich die Status- und Konfigurationsdatenbanken von Subdetektor zu Subdetektor unterscheiden, muß der Benutzer dafür ein Datenformat definieren. Diese Definitionen werden an alle Prozesse exportiert, die auf die Datenbank zugreifen: Parameter-Kontrolle, Benutzerschnittstelle und Datenbankeditor.

In Abbildung 4.5 ist der Aufbau der Parameter-Kontroll-Prozesse zu sehen. Von dem Prozeß müssen die Parameter für die Konfiguration des Systems aus einer Konfigurations-Datenbank gelesen werden. Außerdem werden alle wichtigen Daten in die Status- und die Error-Datenbank geschrieben.

Mit Hilfe von `HbDisplay2`, des HERA-B -Programms zum Anzeigen der Werte aus der Datenbank, kann sich der Benutzer auf einfache Weise die Daten aus der Slow-Control Datenbank ansehen [19]. Das Programm `dbedit` erlaubt es dem Benutzer, die Daten in der Datenbank zu editieren und neue Datenbanken zu erstellen [21]

4.1.3 Nachrichtenprotokoll bei HERA-*B*

Damit zwei Prozesse, die unabhängig voneinander laufen, miteinander kommunizieren können, müssen sie Nachrichten austauschen können. Viele dieser Prozesse laufen auf unterschiedlichen Plattformen. die HV-Kontrolle läuft zum Beispiel auf einer VME-Maschine, während die Benutzer-Schnittstellen unter LINUX gestartet werden. Die Schwierigkeit besteht darin, die ausgetauschten Nachrichten von einer Plattform auf die andere zu übersetzen. Bei HERA-*B* wurde für diesen Zweck ein Nachrichtenprotokoll entwickelt [41]. Dieses Protokoll (kurz: RPM, für Real Powerful Messaging) wurde konzipiert, um alle Bedürfnisse der Nachrichtenübermittlung zu erfüllen. Wichtig ist dabei zum Beispiel der Zugriff auf die Datenbanken oder die Kontrolle des Systems.

Da die Datenmengen der versendeten Nachrichten sich um fünf Größenordnungen unterscheiden und die benötigte Geschwindigkeit um vier Ordnungen verschieden ist, wurde eine zweischichtige Schnittstelle implementiert. Auf der unteren Ebene, die RPI-Ebene genannt wird (Real Programmers Interface), laufen die zeitkritischen Prozesse ab. RPI ist eng mit der Hardware verbunden. Auf oberer Ebene steht RPM, das sich auf RPI stützt, aber einfacher zu handhaben ist, weil hier nicht auf Geschwindigkeit geachtet werden muß. Der Benutzer kann RPM verwenden, ohne daß er sich mit RPI beschäftigt hat.

Anforderungen an RPM

Um Nachrichten gezielt an einen bestimmten Prozeß zu senden, muß dieser eindeutig identifiziert werden können. Zu diesem Zweck wird jeder Prozeß mit einem Namen verknüpft. Im Gegensatz zur Adresse des Prozesses (setzt sich zusammen aus Rechnername, auf dem der Prozeß gestartet wurde, Prozeß-Identifikationsnummer und Port-Nummer), die sich bei jedem Neustart ändern kann und deshalb nicht zur Identifizierung geeignet ist, bleibt dieser Name gleich.

Damit sich die Namen eindeutig ihrer Prozeß-Adresse zuordnen lassen und damit bekannt ist, welche Prozesse gerade laufen, wurde ein globaler "Name Server" erstellt. Bei diesem "Name Server" meldet sich ein Prozeß mit seinem Namen an, sobald er gestartet wurde. Der "Name Server" ist von allen Plattformen aus sichtbar und enthält die Zuordnung der Prozeß-Namen zu ihren Adressen.

Der Name eines Prozesses leitet sich im allgemeinen von seinem Programmnamen ab, kann aber auch bei Aufruf des Prozesses vorgegeben werden. Zum Beispiel heißt der HV-Kontroll-Prozeß *spc_it_hv* und wird unter diesem Namen beim "Name Server" angemeldet.

Da die Prozesse auf verschiedenen Plattformen ablaufen, die teilweise die Daten auf unterschiedliche Weise speichern, muß ein Übersetzungsprotokoll existieren. Ein Beispiel für die unterschiedliche Weise, mit Daten umzugehen, ist die Ordnung von Bytes: Das höchstwertigste Byte in einem Datenstrom kann an erster oder letzter Stelle stehen ("little-endian" oder "big-endian"). Dies muß bei der Datenübertragung von der einen auf die andere Plattform beachtet werden. Der Benutzer muß sich um die Datenübersetzung nicht kümmern. Mit RPM wird das alles automatisch geregelt. Eine genaue Erläuterung des verwendeten Protokolls ist in [41] zu finden.

Die Daten werden von allen Plattformen aus in einem festgelegten Format, nämlich C-Strukturen, verschickt. Die Übersetzung läuft automatisch ab, so daß der empfangende Prozeß die Daten richtig interpretieren kann. Innerhalb dieser C-Struktur muß jeweils der Datentyp angegeben sein, also etwa ob es sich um eine ganze Zahl ("integer"), eine Gleitkommazahl ("float") oder ein Zeichen ("char") handelt. Die genaue Definition des zu verwendenden Formates und einige Beispiele finden sich in [41].

Server und Client

In Abbildung 4.8 ist dargestellt, wie zwei Prozesse mit Hilfe des oben erwähnten "Name Servers" miteinander kommunizieren.

Ein Prozeß, der einen Service irgendeiner Art anbietet (Datenspeicherung, Ausführen bestimmter Tätigkeiten) meldet sich bei dem oben erwähnten "Name Server" an. Damit ist sichergestellt, daß der ihm zugeordnete Name eindeutig ist. Der "Name Server" kennt dann den Namen und die Adresse des Prozesses. Will ein zweiter Prozeß auf den Service des ersten zugreifen, holt er sich über den Namen des Prozesses, der bekannt sein muß, aus dem "Name Server" die Adresse und kann nun auf diesen zugreifen.

Da der erste Prozeß einen Service anbietet, wird er Server genannt. Der zweite Prozeß, der diesen Service in Anspruch nimmt, wird Client genannt.

Wenn der Server eine Nachricht erwartet, kann der Client direkt an die Adresse des Servers eine Nachricht oder Anfrage schicken. Im Teil B der Abbildung 4.8 ist der Fall eingezeichnet, daß der Server eine Anfrage erhält. Es kann eingestellt werden, wieviel Zeit der Server maximal warten soll, bis er eine Anfrage eines bestimmten Typs erhält. Ist diese Zeit verstrichen, kann der Server keine Nachricht dieses Typs mehr empfangen. Während der Server wartet, ist der Prozeß blockiert. Nach Erhalt der Anfrage oder Nachricht bearbeitet der Server sie und schickt die Informationen zurück.

Ein Client kann sich wiederum selber als Server anmelden und Anfragen erhalten. Damit können beliebig viele Informationen zwischen Prozessen aufgetauscht werden.

Da dem Client die Adresse des Servers bekannt ist, kann er auch direkt an den Server Nachrichten verschicken, ohne daß eine Anfrage bestanden hat und der Server auf eine Nachricht wartet (Teil C der Abbildung). Allerdings ist der ordnungsgemäße Empfang der Nachricht nicht durch eine Rückantwort abgesichert. Da auf diese Weise der Informationsfluß nur in einer Richtung geschieht und der Server nicht blockiert wird, während er auf Nachricht wartet, ist der Mechanismus schneller und verzögert die laufenden Prozesse kaum. Bei Nachrichten, die oft wiederholt werden und deren sofortiger Empfang nicht sichergestellt werden muß, ist die Variante C deshalb die sinnvollste.

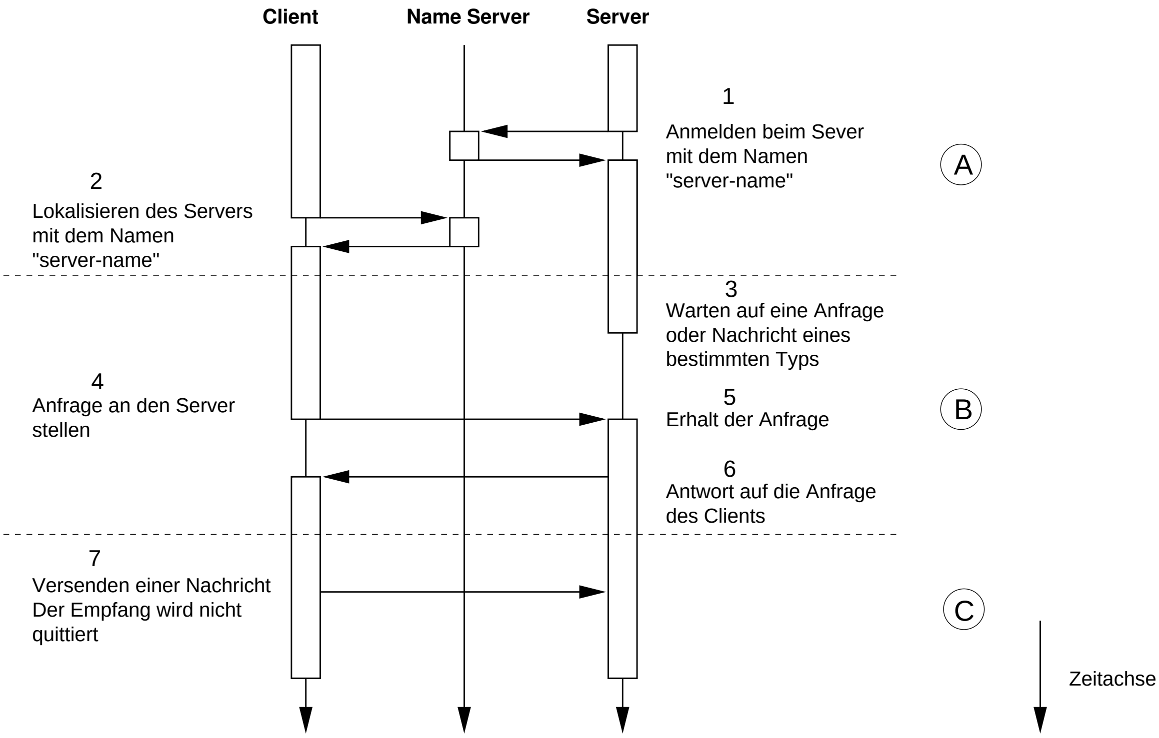


Abbildung 4.8: In Teil A ist die Kommunikation der Prozesse mit dem "Name Server" dargestellt. Der Server meldet sich beim "Name Server" an (1). Daraufhin kann ein Client die Adresse des Servers beim "Name Server" erfragen (2). In Teil B des Bildes erwartet der Server eine Nachricht oder Anfrage (3). Der Client richtet eine Anfrage direkt an den Server (4) und dieser sendet dann die Informationen an den Client zurück (6).
Eine andere Art der Kommunikation ist in Teil C eingezeichnet. Der Client versendet eine Nachricht an die Adresse des Servers (7). Der Erhalt der Nachricht ist nicht gesichert, da der Server den Empfang nicht bestätigt. Der Client muß nicht auf eine Antwort warten. Beide Prozesse werden nur minimal gestört.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß es innerhalb von RPM noch eine andere Möglichkeit gibt, Nachrichten auszutauschen, die besonders für große Datenmengen geeignet ist [41]. Hier wird nicht mit Client und Server gearbeitet. Zusätzliche Steuerungsprogramme reservieren bei Bedarf einen Speicherbereich, in den die großen Datenmengen geschrieben werden können Für die Slow-Control des Inneren Spurkammersystems wurde jedoch das oben beschriebene Protokoll verwendet, deshalb soll hier nicht darauf eingegangen werden.

4.2 Komponenten des Hochspannungs-Systems

Das Innere Spurkammersystem wird im voll eingebauten Zustand aus 184 einzelnen MSGCs bestehen. Jeder Detektor benötigt vier verschiedene Spannungen: U_{kath} ($\cong$ -490 V), U_{Drift} ($\cong$ -2400 V), U_{GEMoben} und U_{GEMunten} ($\cong$ Spannungsdifferenz von 400 V). Um die Kosten der HV-Versorgung vertretbar zu halten und um Ströme im Nano-Amperebereich messen zu können, wurden in der Elektronik-Werkstatt in Heidelberg Spannungsteiler entwickelt und gefertigt (Strommeßbox A339 und GEM-Verteilerbox A344). Die Erzeugung der Kammerspannungen ist in Bild 4.9 gezeigt.

Mit den Strommeßboxen A339 können zwei Eingangsspannungen auf je acht Ausgangs-

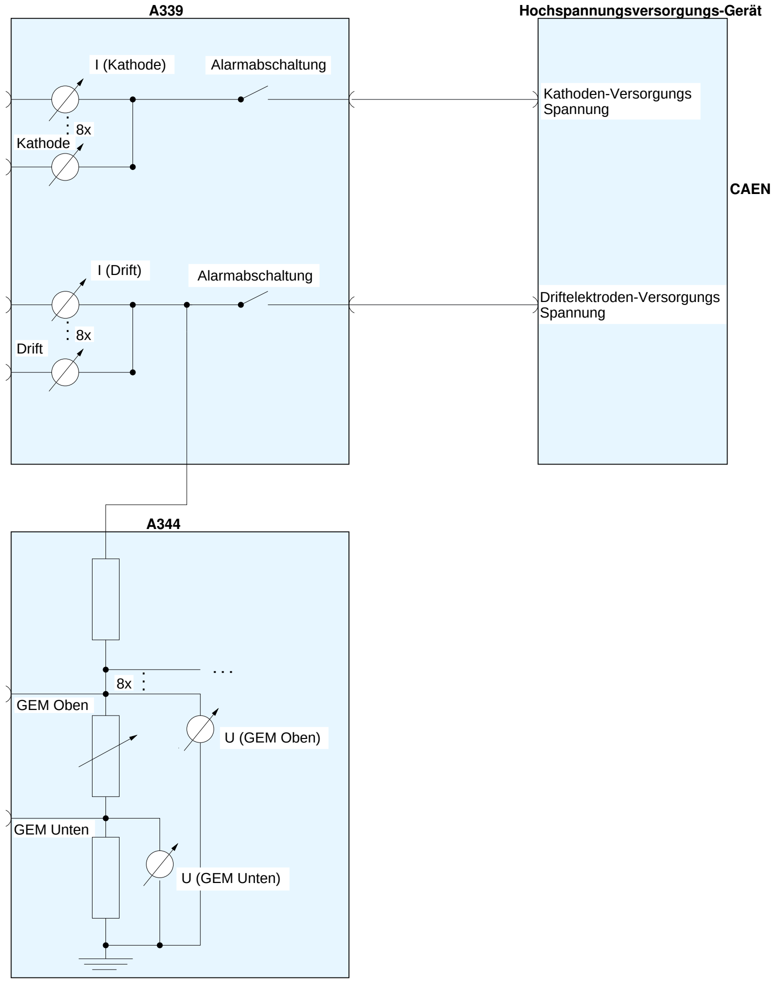


Abbildung 4.9: Aus je einem Driftelektroden- oder Kathoden-Kanal des Hochspannungsversorgungs-Gerätes werden mit dem Strommesser A339 die Driftelektroden- und Kathodenspannungen für acht Kammern erzeugt. Beide Stromkreise können über ein Relais, das zur Alarmabschaltung dient, unterbrochen werden. Außerdem wird die Driftelektroden-Spannung in die GEM-Verteilerbox A344 geleitet, wo durch einen regelbaren Widerstand die Spannungen für Ober- und Unterseite der GEMs erzeugt werden.

kanäle verteilt werden. Über ein Relais können die Versorgungsspannungen ausgeschaltet werden, falls ein Alarm (Überstrom in den Strommeßboxen oder Überschlag GEM-Verteilerboxen) auftritt.

Die GEM-Spannung wird mit einem Spannungsteiler aus U_{drift} gewonnen (GEM-Verteilerbox A344). Somit benötigt man statt 184 Kanälen pro Hochspannung nur noch je 23 für die Kathode und die Driftelektrode. Die Anzahl der benötigten Hochspannungs-Versorgungsgeräte zur Erzeugung der Primärspannung konnte durch diese Maßnahme stark reduziert werden. Beim Inneren Spurkammersystem wird die Hochspannung von einem CAEN SY527 Gerät geliefert.

Im folgenden werden zuerst die Geräte zur Hochspannungserzeugung und Verteilung beschrieben, die beim Inneren Spurkammersystem eingesetzt werden. Dann wird der Aufbau des Systems im Experiment dargestellt.

4.2.1 Hochspannungs-Versorgungsgerät

Das HV-System (Hochspannungs-System, High Voltage System), das die Hochspannung für die MSGCs liefert, muß folgenden Anforderungen gerecht werden.

- Die Hochspannung muß konstant auf einem vorgegebenen Wert gehalten werden.
- Die Spannungen müssen in verschiedenen Bereichen erzeugt werden. Für die Driftspannung werden U_{drift} = -2400 V benötigt und für die Kathodenspannung U_{kath} = -490 V.
- Es muß möglich sein, die Spannungen fernzusteuern, so daß das System von einem Computer aus bedient werden kann.
- Da das Innere Spurkammersystem aus 184 einzelnen Detektoren besteht, muß die Anzahl der Hochspannungskanäle ausreichend groß sein, um jede Kammer mit den jeweils nötigen Spannungen zu versorgen.
- Die Spannungen sollten durch ein Hardware-Signal von außerhalb abgeschaltet werden können, und es muß möglich sein, ein Einschalten zu verhindern. Für die Inneren Spurkammern ist es wichtig, das Einschalten der Hochspannung vom Zustand des Gassystems abhängig zu machen. Werden die Kammern zum Beispiel nicht von Gas durchspült oder tritt eine Fehlfunktion im Gassystem auf, muß eine Einschaltung verhindert beziehungsweise die Hochspannung ausgeschaltet werden.
- Die Spannungen müssen ständig überwacht werden.
- Auch die Ströme müssen überwacht werden. Beim Inneren Spurkammersystem sind sie ein Indiz für den Zustand der Kammern. Übersteigt der Strom eine obere Grenze, muß die Hochspannung abgeschaltet werden.

Das CAEN[3] SY527 (siehe Abbildung 4.10) bietet als Hochspannungs-Versorgungsgerät die oben beschriebenen Eigenschaften. Es wurde speziell für die Bedürfnisse der Detektoren der Hochenergiephysik entwickelt [3]. Das System besteht aus einem großen Rahmen (crate) mit einem Kontroll-Modul, in den man bis zu zehn HV-Module für verschiedene Spannungen und Ströme einstecken kann. Es gibt verschiedene Arten von HV-Modulen, die auch gemischt verwendet werden können. Ein weiterer Vorteil des CAEN-Gerätes besteht in seiner Ausbaufähigkeit. Das System ist so entworfen, daß in Zukunft neuentwickelte Module ohne Probleme integriert werden können. Bis zu 100 CAEN-Geräte können in Reihe geschaltet über eine Schnittstelle bedient werden.

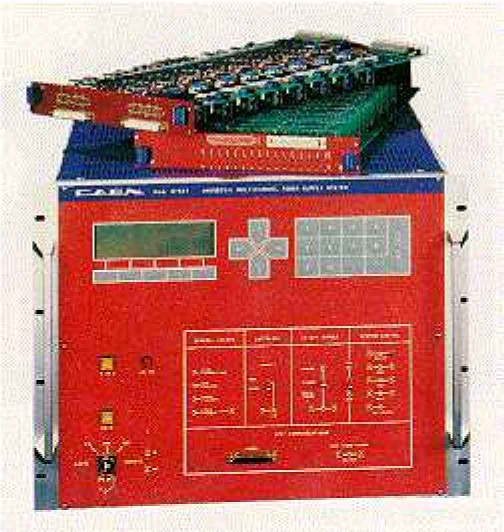


Abbildung 4.10: Frontansicht des CAEN-Gerätes, das für das System der Inneren Spurkammern verwendet wird.

Das zentrale Kontroll-Modul ist mit einem 16-bit MC68000 Mikroprozessor ausgestattet. Diese Mikroprozessor-Einheit hat direkte Kontrolle über alle Operationen der Spannungsversorgung.

Folgende grundlegenden Funktionen können ausgeführt werden:

- Kontrolle der Spannungsversorgung über manuelle Steuerung und Fernsteuerung.
- Überwachung der Temperatur und der Lüftung.
- Direkte Überwachung der einzelnen Hochspannungskanäle der HV-Module. Alle Parameter werden ausgelesen und gesetzt.

Im folgenden werden die Funktionen dieses Gerätes beschrieben.

[3]Costruzioni Apparecciature Elettroniche Nucleari, Viareggio, Italien

Steuerung des CAEN-Gerätes

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, das CAEN-Gerät zu bedienen.

Frontplatte Das CAEN-Gerät kann lokal über seine Frontplatte bedient werden. In diese ist ein LC-Bildschirm und eine Tastatur integriert. Es ist möglich, alle Funktionen von hier aus zu bedienen, allerdings ist das zeitaufwendig und nicht sehr komfortabel.

Terminalbetrieb über eine serielle Schnittstelle kann das CAEN-Gerät mit einem Terminal verbunden werden. Alle Funktionen des HV-Gerätes sind darüber steuerbar und alle Parameter können verändert und überwacht werden. Allerdings ist der Zugriff auf die einzelnen Kanäle etwas mühsam, und da nicht alle Kanäle gleichzeitig angezeigt werden, fehlt der Gesamtüberblick.

Kontrolle über VME Das CAEN-Gerät ist über das H.S. CAENET[4] (eine serielle Steuerleitung) mit der Steuerkarte VS288 im VME-Crate verbunden. Diese wird von der VME-CPU angesprochen. "VME" steht für *VERSAmodule Eurocard.* [47]. Dies ist die komfortabelste Steuerung. Damit ist auch gewährleistet, daß vom HERA-*B* Kontrollraum aus eine vollständige Kontrolle des HV-Systems möglich ist. Es sei noch erwähnt, daß auch über andere Datenprotokolle auf das CAEN-Gerät zugegriffen werden kann. Das Innere Spurkammersystem arbeitet aber mit VMEbus.

Für eine detaillierte Beschreibung der Steuerung des CAEN-Gerätes siehe [3].

Am CAEN-Gerät kann durch eine Verriegelung auf zwei verschiedene Arten verhindert werden, daß Spannungen angelegt werden, bzw. erreicht werden, daß die Spannung ausgeschaltet wird:

- Auf der Frontplatte kann das Einschalten der Hochspannung durch einen Schalter verhindert werden.
- Über eine potentialfreie Kabel-Verbindung kann ein "Interlock" aktiviert werden.

HV-Parameter der einzelnen Kanäle

Für jeden Kanal des CAEN-Gerätes können verschiedene Parameter eingestellt werden. Im folgenden sind diese Parameter näher erläutert.

VMAX Im Parameter VMAX ist für jeden Kanal die maximal zulässige Spannung gespeichert. Sicherheitshalber gibt es noch einen Grenzwert, der an der Hardware eingestellt wird. Auch wenn der Software-Grenzwert VMAX höher gesetzt ist, kann die Hardware-Begrenzung nicht überschritten werden.

V0SET, V1SET Für jeden Kanal können zwei Hochspannungswerte programmiert werden. Durch Setzen von V0Set oder V1Set kann zwischen diesen gewechselt werden. Für die Inneren Spurkammern wird nur der Wert V0 benutzt.

[4] High Speed CAENET

I0SET, I1SET Auch für die Stromgrenzen gibt es zwei Werte. Entsprechend V0SET wird für die Inneren Spurkammern I0SET benutzt.

RAMP-UP Wird die Hochspannung für einen Kanal eingeschaltet oder erhöht, dann passiert das nicht sprunghaft, sondern die Spannung wird langsam linear hochgesetzt. Mit RAMP-UP ist diese Geschwindigkeit einstellbar. Der Wert ist in Volt pro Sekunde angegeben.

RAMP-DOWN Entsprechend dem RAMP-UP-Wert kann mit diesem Parameter eingestellt werden, wie schnell die Hochspannung heruntergesetzt wird. Nicht nur für normales Abschalten der Spannung wird diese Geschwindigkeit verwendet, sondern auch wenn in einem Kanal ein "Trip" (siehe unten) aufgetreten ist. Damit wird eine möglichst sichere Abschaltung gewährleistet.

VMON In diesem Wert wird die tatsächlich gemessene Spannung gespeichert.

IMON In diesem Wert wird der tatsächlich gemessene Strom gespeichert.

TRIP In diesem Parameter ist die längstmögliche Zeit, während der ein Überstrom auftreten kann, gespeichert. Er ist in Zehntel Sekunden angegeben. Sollte ein Überstrom auftreten, der länger andauert, so erniedrigt das System die Hochspannung mit der RAMP-DOWN-Geschwindigkeit bis auf 0 V. Ist der TRIP-Wert auf 1000 gestellt, ist diese Funktion ausgeschaltet und der Überstrom kann unendlich andauern, ohne daß das System reagiert.

ON/OFF Ist ON/OFF auf eins gesetzt, wird die Hochspannung eingeschaltet, ist es auf Null gesetzt, wird das verhindert.

HV-Module

Wie schon erwähnt ist es möglich, bis zu 10 HV-Module in einen Rahmen einzustecken. Für die Inneren Spurkammern werden mindestens 2 x 23 Kanäle benötigt. Um die Möglichkeit zu haben, eventuell einzelne Kammern separat mit Hochspannung zu versorgen, werden einige zusätzliche Kanäle belegt. Für Kathode und Driftelektrode werden unterschiedliche Hochspannungen verwendet, deshalb werden auch unterschiedliche HV-Module benutzt. Alle Module erzeugen negative Spannungen. An jedem HV-Modul ist der maximal zulässige Spannungswert mit einem Potentiometer einstellbar. Der Wert gilt global für alle Ausgänge des Moduls. Dieser Wert kann nicht überschritten werden. Damit ist gesichert, daß der Benutzer nicht aus Versehen zu viel Spannung anlegt. Die Einstellung kann direkt am Display des CAEN-Gerätes oder am angeschlossenen Terminal überprüft werden.

Den Anforderungen entsprechend werden folgende HV-Module beim Inneren Spurkammersystem eingesetzt (Detailliertere Informationen sind in [4] zu finden):

- A732N
  Dieser Einschub hat 12 Ausgänge, die jeweils maximal 6 kV liefern können und deren

maximaler Ausgangsstrom 1 mA beträgt. Die Genauigkeit der Hochspannungswerte und der Meßwerte für den Strom liegt bei 0,5 V bzw. 1 μA.
Dieses Modul liefert die Hochspannung für die Driftelektroden.

- A734N
  Dieser Einschub besitzt 16 Ausgänge für die Hochspannung. Wenn nur 12 dieser Kanäle betrieben werden, kann jeder Kanal maximal 3 kV und 3 mA liefern. Bei Benutzung aller Kanäle fällt die Obergrenze des Stromes auf 2,7 mA. Die Genauigkeit beträgt 0,2 V für die Hochspannungswerte und ebenfalls 1 μA für die Strommeßwerte. Dieses Modul liefert die Hochspannung für die Kathoden.

4.2.2 Strommesser

Die Hochspannung eines Kanals des CAEN-Gerätes wird auf acht Ausgänge verteilt, wie oben erklärt. Es ist außerdem nötig, die Ströme zu überwachen, denn der Strom, der durch Kathode und Driftelektrode fließt, ist ein direktes Indiz für den Zustand einer Kammer. Kurzschlüsse können direkt beobachtet werden. Die Strommessung muß im Nano-Ampere-Bereich erfolgen (10 nA - 40 μA für die Driftelektrode, 10 nA - 200 μA für die Kathode).

Zur Spannungsteilung und Überwachung der Ströme wurde von der Elektronikwerkstatt am Physikalischen Institut der Universität Heidelberg der Strommesser A339 entwickelt [48], siehe Abbildung 4.11. Die Strommeßbox A339 hat zwei Eingänge, die mit je einem Kanal des CAEN-Gerätes verbunden werden. Ein Eingang liefert die Hochspannung für die Driftelektroden, der andere die für die Kathoden. Jede Eingangsspannung wird auf 8 Ausgangskanäle der Strommeßbox verteilt. Die Strommeßboxen haben spezi-

Abbildung 4.11: Photographie einer Strommeßbox A339, wie sie für die Spannungsversorgung der Inneren Spurkammern verwendet wird. Die Strommeßbox kann über CAN-Bus angesprochen werden, ist aber auch mit Hilfe des Displays und der weißen Knöpfe zu bedienen. Auf der rechten Seite sind die acht Ausgangskanäle der Driftelektrodenspannungen und auf der linken die acht Ausgänge der Kathodenspannungen zu sehen.

elle Funktionen, die für jeden dieser Ausgangskanäle eine umfassende Überwachung der Ströme erlauben. Für jeden Kanal können separat zwei verschiedene Grenzwerte eingestellt werden:

- Grenzwert für eine Warnung
  Jeder Meßwert wird mit diesem Grenzwert verglichen. Ist er überschritten, wird eine Warnung ausgelöst. Die Anzahl der aufgetretenen Warnungen wird in je einem Zähler registriert.

- Grenzwert für einen Alarm
  Eine einstellbare Anzahl von Meßwerten wird zusammengefaßt und der Mittelwert dieses Wertes wird mit dem Grenzwert für einen Alarm verglichen. Bei Überschreitung wird ein Alarm ausgelöst. Auch hier wird die Anzahl der aufgetretenen Alarme in einem Zähler registriert. Ein einmal aufgetretener Alarm muß durch ein Kommando aufgehoben werden.

Die Funktion, eine Warnung zu erzeugen, wird in der jetzigen Implementierung jedoch nicht benutzt. Es wurde beschlossen, die Grenzwerte für den Alarm so niedrig zu setzen, daß eine Warnung nicht nötig ist.

Bei Betrieb des Detektors der Inneren Spurkammern bei HERA-*B* trat das Problem auf, daß sich einige Strommesser nicht mehr ansprechen ließen. Ihr Zustand war damit nicht bekannt. Bei HERA-*B*-Betrieb befinden sich die Strommeßboxen wie auch die GEM-Verteiler-Boxen in einem nicht zugänglichen Bereich. Ein Ausfall der Boxen konnte also nicht leicht behoben werden und der Zustand war kritisch. Dieses Problem wurde in der Elektronikwerkstatt in Heidelberg untersucht. Es stellte sich heraus, daß die Prozessoren in den Boxen stehenbleiben, wenn ein Hochspannungs-Überschlag auftritt [50]. Wo diese Überschläge im Experiment tatsächlich stattfinden, konnte nicht eindeutig geklärt werden. Es muß sich aber um Überschläge in der Spurkammer, in den Kabeln oder Steckern handeln.

Als Lösung wurden weitere Widerstände und zur zusätzlichen Sicherung ein sogenannter "Watchdogtimer[5]-Schaltung" eingebaut. Mit dieser Schaltung wird der Prozessor in regelmäßigen Abständen neu gestartet, falls er nicht rechtzeitig eine Zeitschaltuhr zurückgesetzt hat. Wenn also der Prozessor stehengeblieben ist, wird er nach dieser vorher eingestellten Zeit wieder neu gestartet. Damit kann er wieder angesprochen werden, und die Box befindet sich in einem definierten Zustand.

4.2.3 GEM-Verteiler Boxen

Mit den GEM-Verteiler Boxen wird aus der Driftelektroden-Spannung die Spannung für die GEM-Ober- und -Unterseite erzeugt. Ihr Gehäuse sieht genauso aus, wie das der Strommesser (siehe Abbildung 4.11). Eine Box hat je acht Ausgänge und für jeden dieser Ausgänge

[5] Watchdog heißt auf deutsch Wachhund

kann die Spannung mit einem regelbaren Widerstand separat geregelt werden, so daß prinzipiell an jede Kammer eine andere GEM-Spannung angelegt werden kann. Ein Schaltbild ist in Abbildung 4.9 zu sehen. Dadurch können etwas unterschiedliche Gasverstärkungen in den Kammern ausgeglichen werden. Der Bereich, in dem die Spannungen erzeugt werden können, ist begrenzt durch die eingesetzten Widerstände im Schaltkreis der GEM-Verteilerbox. Bei der Konfiguration der Widerstände und den Hochspannungen, die bis Februar 2000 benutzt wurden, können bei einer angelegten Driftelektroden-Spannung von –3200 V zwischen 308 V und 486 V erreicht werden.

Die Regelung wird durch einen Mikrocontroller gesteuert, der die Spannungen vor und nach dem veränderlichen Widerstand mißt und dementsprechend nachregelt. Da sich bei Teilchenfluß durch die Kammer die Ströme durch die GEM ändern können, ist die angelegte Spannung nach $U = R \cdot I$ nicht konstant, was die Regelung kompensiert.

Diese Regelung geschieht über einen DAC (Digital Analog Converter). Allerdings variieren die Spannungswerte bei gleichem DAC-Wert und Widerständen, wie sie bis Februar 2000 eingebaut waren, von Kanal zu Kanal [12] recht stark (bis zu 40 V).

Tritt ein Überschlag zwischen GEM-Ober- und Unterseite auf, wird der Widerstand sofort nachgeregelt, um den Spannungs-Zusammenbruch zu kompensieren. Wenn die GEM-Folie dann wieder aufgeladen wird, kann die Widerstandsregelung nicht schnell genug reagieren und es wird zu viel Spannung angelegt. In einem im Mikrocontroller einstellbaren Wert, dem DAC-over, wird der maximale Wert für die Regelung des DAC gespeichert und damit wird die Spannungdifferenz zwischen oberer und unterer GEM-Folie begrenzt. Die Spannung kann nicht über diesen maximalen Wert hochgeregelt werden.

Damit GEM-Überschläge keine Folgeschäden anrichten, wurde eine "Spark-Erkennung" eingebaut. Damit ist es möglich, Überschläge zu erkennen und zu registrieren. Jeder Kanal der GEM-Verteilerbox wird dabei unabhängig überwacht.

In Bild 4.12 ist der Spannungsverlauf der Differenzspannung zwischen oberer und unterer Seite der GEM beim Auftreten von Überschlägen aufgezeichnet.

Der Controller mißt die Abweichung des momentanen Spannungswertes vom vorherigen Meßwert. Ist diese größer als der Wert a, wird die Abweichung als Überschlag erkannt. Wenn es sich um einen einzelnen Überschlag handelt, lädt sich die GEM-Folie wieder auf (im Bild die Zeitkonstante l). Die Differenzspannung wird für eine einstellbare Zeit r auf einem sicheren Wert (dem minimal einstellbaren Wert) gehalten und erst dann wieder auf Nominalwert gesetzt. Ein Zähler zählt für jeden Kanal unabhängig, wieviele solcher Überschläge aufgetreten sind.

Ist ein Überschlag aufgetreten, wird die Regelung des DAC für einige Sekunden ausgesetzt. Somit wird verhindert, daß beim Wiederaufladen der GEM-Folien zu viel Spannung angelegt wird.

Handelt es sich aber um einen Kurzschluß zwischen der oberen und der unteren Seite der GEM-Folie oder erlischt die Entladung nicht sofort, so kann sich die Folie nicht wieder aufladen und nach der Zeit l ist der eingestellte sichere Spannungswert (In Abbildung 4.12 als "Safe" markiert) noch nicht erreicht. Dieser Fall ist im rechten Teil des Diagramms

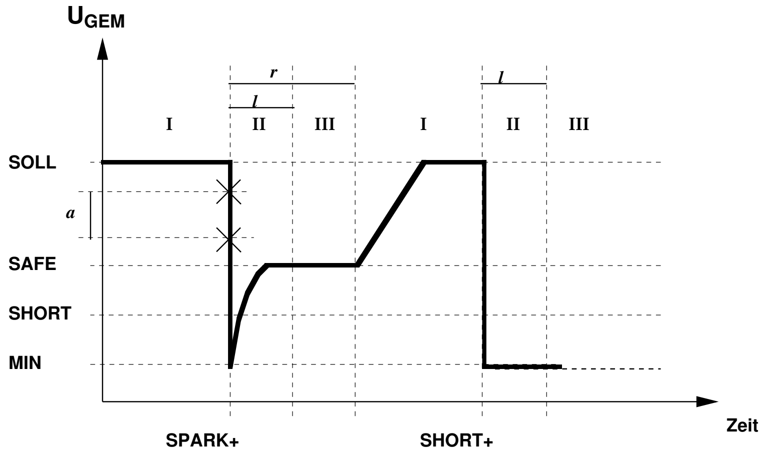


Abbildung 4.12: Bei einem Überschlag sinkt die GEM-Spannung plötzlich. Wenn diese Abweichung größer ist als der Wert a, wird der Überschlag als Spark erkannt (linker Teil der Abbildung). Nach einer gewissen Zeit l hat sich die Folie wieder aufgeladen, wird aber für die Zeitspanne r auf einem sicheren Wert gehalten (DAC = 0). Nach dieser Zeit wird die Spannung wieder auf ihren Nominalwert gesetzt.
Im hinteren Teil des Bildes ist ein Kurzschluß aufgetreten: Die Spannung hat sich auch nach der Zeit l nicht wieder aufbauen können [49]. Die GEM-Verteilerbox sendet dann ein Alarm-Signal an die Strommeßbox, woraufhin dort das Sicherheitsrelais geöffnet wird.

eingezeichnet. Die GEM-Verteilerbox A344 geht dann in den Alarmzustand über und verschickt an die Slow-Control eine Nachricht und an die Strommeßbox ein Signal, auf welches die Strommeßbox das Sicherheitsrelais öffnet, so daß die beiden Boxen vollständig ausschalten.

Auch in den GEM-Verteilerboxen ist wie in den Strommessern eine "Watchdogtimer-Schaltung" implementiert.

4.2.4 Aufbau im Experiment

Das Experiment HERA-*B* befindet sich in der Halle West auf dem DESY-Gelände. Im zweiten Stock ist der Kontrollraum, von dort aus steuert die Schichtbesatzung den Detektor. Der Detektor selber befindet sich in einem abgeschirmten Bereich im sechsten Untergeschoß. Für die elektronischen Geräte ist ein dreistöckiger Elektronik-Trailer außerhalb der Abschirmung aufgebaut. Die Geräte sind über Kabel mit dem Detektor verbunden. Die Hochspannungsversorgung des Inneren Spurkammersystems befindet sich im ersten Stock des Elektroniktrailers. In den Abbildungen 4.13 und 4.14 ist der Aufbau zu sehen.

Über 50 Meter lange Kabel wird die Hochspannung vom CAEN-Gerät in das Experiment geführt, wo sie von den Strommessern A339 verteilt werden und aus der Driftelektroden-Spannung die Spannung für die GEM erzeugt wird. Mit weiteren Kabeln wird die Spannung dann an die Hochspannungsanschlüsse der Kammern geleitet.

Strommeßbox und GEM-Verteilerbox sind auch über ein Fast-Alarm-Kabel miteinander verbunden. Tritt im GEM ein Kurzschluß oder eine Dauerentladung auf, die länger als eine voreingestellte Zeit dauert, wird über dieses Kabel ein Signal an die Strommeßbox geschickt, worauf die Relais' für Kathoden- und Driftelektroden-Spannungen geöffnet werden. Die gesamte Hochspannung für die MSGC-Kammern ist damit abgeschaltet.

Über die Steuerleitung (CAN-Bus) wird eine Nachricht über den Vorfall an die Slow-Control geschickt [49].

Die Strommesser und die GEM-Verteiler erhalten ihre Versorgungsspannung von den NIM-Crates. Immer je drei Boxen befinden sich in einem dieser Überrahmen. Über CAN-Bus wird die Versorgungsspannung überwacht und kann ein- und ausgeschaltet werden. Insgesamt befinden sich sechs solcher NIM-Crates unter der Mittel-Plattform des Experiments, die die PC und TC-Stationen versorgen. Drei weitere sind für die Versorgung der Magnetstationen (MC) unter dem Magneten angeordnet.

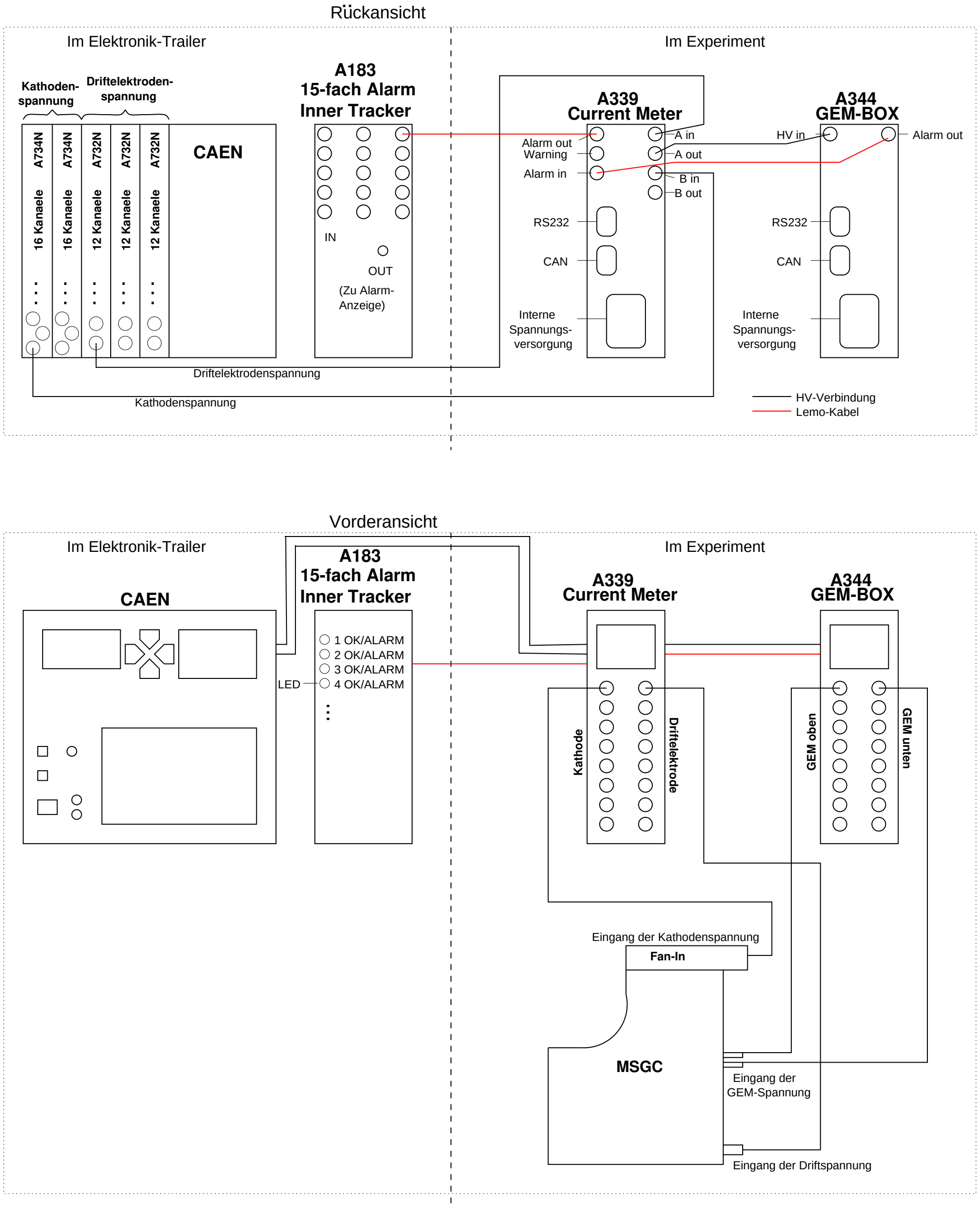


Abbildung 4.13: Aufbau der HV-Versorgung im Experiment. Die Hochspannungen werden am CAEN-Gerät erzeugt. Dieses befindet sich im Trailer, zu dem immer Zugang möglich ist. Von dort werden die Spannungen über ca. 50 m lange Kabel ins Experiment geführt und in den Strommeßboxen A339 auf acht Ausgänge verteilt. Aus der Spannung für die Driftelektrode wird durch den Spannungsteiler A344 die GEM-Spannung erzeugt. Im Experiment stehen derzeit je 27 Strommeß- und GEM-Boxen. Zu den Boxen A339 und A344 besteht während normalem HERA-Betrieb kein Zugang. Von hier aus werden die Hochspannungen an die Kammern geführt. Eine Kammer mit den Anschlüssen für die Hochspannung ist eingezeichnet.
Eine Alarm-Verbindung ist zwischen den Strommeß- und GEM-Boxen installiert. Von der Strommeßbox aus ist der Alarm mit einem 15-fach Alarm A183 im Elektronik-Trailer verbunden. Insgesamt hat das Innere Spurkammersystem zwei dieser Alarmboxen.

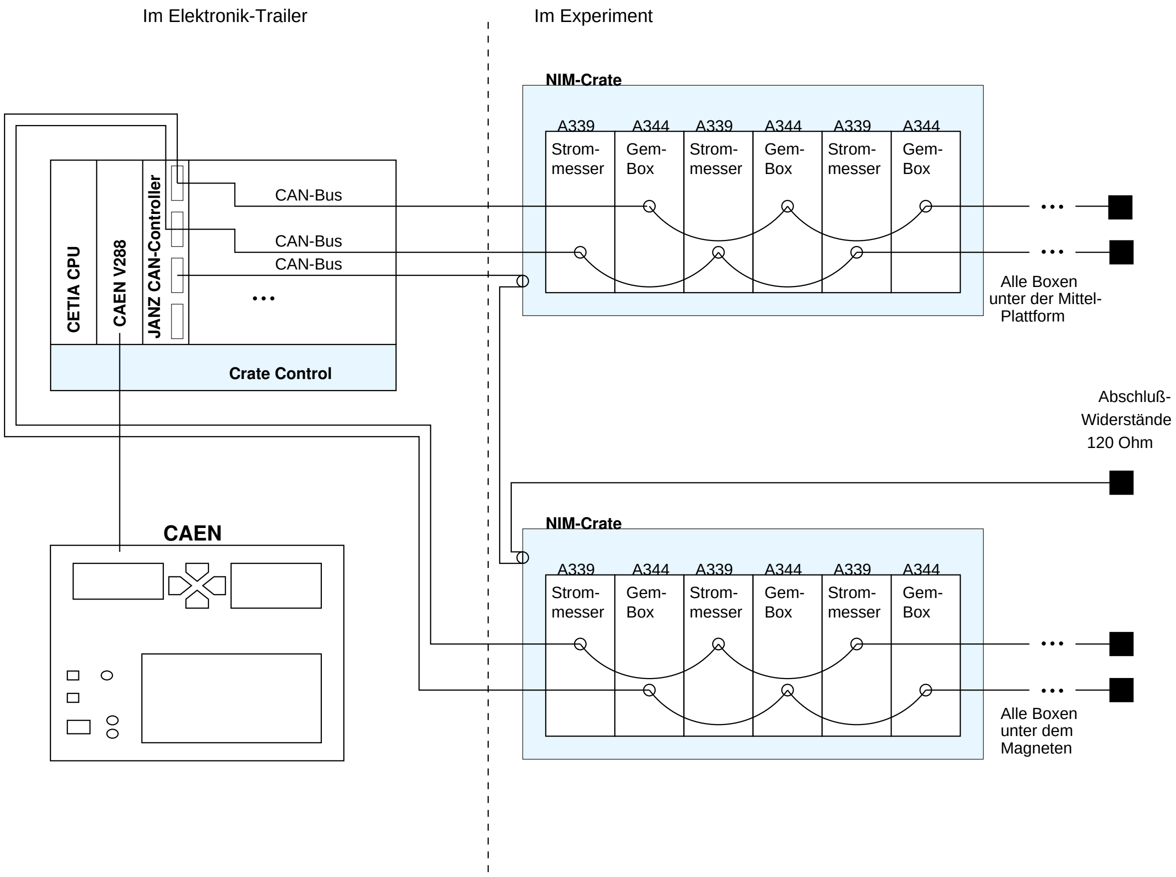


Abbildung 4.14: Über CAN-Bus werden die Strommesser, die GEM-Verteiler und die NIM-Crates (NIM: Nuclear Instrument Module) angesprochen. Das CAEN-Gerät wird über das CAENET gesteuert. Jeweils alle Strommesser und GEM-Verteiler sind über eine CAN-Bus Leitung miteinander verbunden.

Kapitel 5

Hochspannungs-Steuerung

Wie schon auf Seite 36 erläutert, wurden aufgrund der Vielzahl der benötigten Hochspannungskanäle die Strommeßbox A339 und die GEM-Verteilerbox A344 eingeführt. Diese Architektur erfordert den Zugriff auf drei separate Hardware-Geräte. Damit ist die Steuerung der Hochspannungsversorgung des Inneren Spurkammersystems in drei Prozesse aufgeteilt. Ein Prozeß greift auf das CAEN-Gerät zu, das die Hochspannung erzeugt, ein weiterer auf die Strommeß-Boxen, die diese Hochspannung verteilen und einer auf die GEM-Verteilerboxen, die aus der Driftspannung die GEM-Spannung erzeugen. Das CAEN-Gerät wird mit dem Prozeß *spc_it_hv* angesprochen. Auf die Strommesser greift der Prozeß *spc_it_hvcur* zu und auf die GEM-Boxen *spc_it_gem*.

- **HV** Das HV-Programm steuert die Spannungsversorgung und überwacht die Ströme.
- **HVcurrent** überwacht die Ströme der Ausgangskanäle der Strommeßboxen. Für jeden Kanal kann separat eine obere Stromgrenze eingestellt werden. Falls ein Stromwert diese Schwelle überschreitet, wird ein Relais geöffnet, so daß die Hochspannung abgeschaltet wird. Wenn die Box voll bestückt ist, werden damit acht Spannungen ausgeschaltet.
- **GEM** Das GEM-Programm überwacht und setzt Spannungen der GEM-Boxen. Spannungsüberschlage werden gezählt, ein Kurzschluß führt zur Auslösung eines Alarms.

Alle drei Prozesse sind über eine graphische Benutzerschnittstelle ansprechbar.

5.1 Graphische Benutzer-Schnittstellen

In Abbildung 5.1 ist eine graphische Benutzerschnittstelle (GUI), wie sie vom Inneren Spurkammersystem verwendet wird, abgebildet. Wie schon erwähnt sind bei HERA-B alle GUIs ähnlich aufgebaut. Die graphischen Benutzer-Schnittstellen laufen unter LINUX,

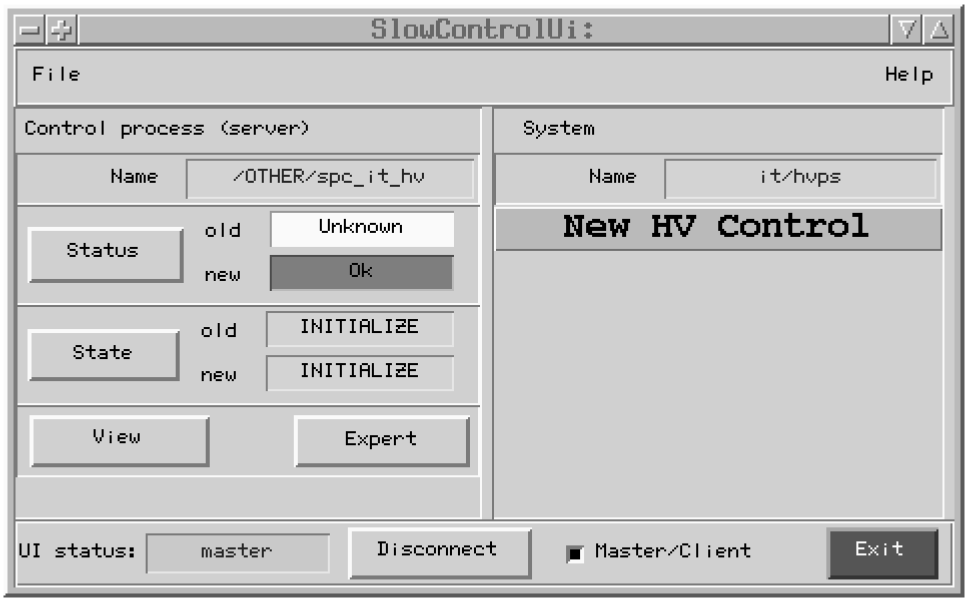


Abbildung 5.1: Die graphische Benutzer-Schnittstelle für die HV-Kontrolle. Auf einen Blick ist zu sehen, in welchem Zustand und welchem Status sich das System im Moment befindet (im vorliegenden Fall ist das System in **INITIALIZE** und der Status ist "ok"). Mit Hilfe der Knöpfe auf der linken Seite des GUIs können neueste Informationen angezeigt werden. Der "Expert"-Knopf enthält ein Untermenü, mithilfe dessen einzelne Parameter oder Parameter-Gruppen geändert werden können. Eine genaue Beschreibung der einzelnen Knöpfe findet sich im Text.

während die Steuerprozesse unter LynxOS laufen. Das macht noch einmal die Wichtigkeit eines Nachrichtenprotokolles deutlich. Hier wird auf zwei verschiedenen Plattformen gearbeitet, die Prozesse müssen jedoch miteinander kommunizieren.

Mit Hilfe der GUIs können die Prozesse sehr einfach gesteuert und bedient werden. Die Oberfläche ist größtenteils selbsterklärend. Der Detektor kann mit Hilfe von globalen Zustandsänderungen bedient werden, ohne daß der Benutzer die Kenntnis der einzelnen Parameter besitzen muß. Die Bedienung der Inneren Spurkammern über Parameter-Änderungen ist bei der Komplexität des Systems nicht mehr sicher möglich.

Hier ist das GUI für die Ansteuerung des CAEN-Gerätes abgebildet. Die GUIs für die anderen Hochspannungsversorgungsprozesse des Inneren Spurkammersystems sind fast identisch. Die GUIs wurden in Tcl/Tk, einer Skript-Programmiersprache, geschrieben [23]. Damit können auf relativ einfache Weise per Mausklick bedienbare Knöpfe und Tabellen erzeugt werden. Durch ein C-Interface können C-Programme angebunden werden. Genauere Details sind in [10] angegeben.

Eine Erklärung der Knöpfe auf dem GUI ist im Anhang A.2 zu finden.

5.2 Steuerungs- und Überwachungsdateien

Für die Parameter-Kontroll-Prozesse werden je zwei Dateien benötigt, die das System beschreiben. Am Beispiel der HV-Kontrolle der Inneren Spurkammern werden diese Dateien hier vorgestellt.

Eine Datei enthält die Informationen, die zur Steuerung des Prozesses notwendig sind. Diese Datei wird Konfigurationsdatei genannt (englisch: configuration file, kurz: config file). Die andere Datei enthält die Informationen, die zur Überwachung der Parameter gebraucht werden. Sie werden Monitor-Parameter genannt und sind in einer Datei gesammelt, die entsprechend Monitor-Datei heißt (englisch: monitor file).

Insgesamt gibt es drei Arten von Parametern:

Hardware-Parameter In den Hardware-Parametern sind die Adressen gespeichert, die der Prozeß benötigt, um auf die Hardware zugreifen zu können.

Konfigurationsparameter In den Konfigurationsparametern sind alle Informationen gespeichert, die in die Hardware eingelesen werden. Für die Hochspannungs-Kontrolle des Inneren Spurkammersystems sind das alle Parameter, die am Versorgungsgerät verändert werden können, wie zum Beispiel:

- Betriebsspannung.
- Maximal zulässiger Spannungswert. Der Benutzer kann im laufenden Betrieb die angelegten Spannungen ändern. Mit diesem Parameter kann verhindert werden, daß der Wert zu hoch eingestellt wird.
- Maximal zulässiger Stromwert.

Konfigurations- und Hardware-Parameter sind in der Konfigurationsdatei gesammelt.

Überwachungsparameter In den Überwachungsparametern, den sogenannten “Monitor”-Parametern, sind Grenzwerte für die Software gespeichert. Werden diese überschritten, löst die Software einen Alarm aus. Je nach Bedarf kann dann automatisch darauf reagiert werden.

Eine genaue Beschreibung der Konfigurations-Parameter für den Hochspannungs-Kontroll-Prozeß findet sich in Kapitel 4.2.1 und ein verkürztes Beispiel für eine Konfigurationsdatei, die ebenfalls für den Hochspannungs-Kontroll-Prozeß benutzt wird, ist in A in Abbildung A.1 zu sehen.

In den Konfigurations-Dateien werden die Hardware-Adressen der Kanäle einem Kanal-Namen zugeordnet, so daß die Kanäle über diesen Namen angesprochen und bedient werden können. Somit muß der Benutzer nicht über die Hardware-Verbinungen informiert sein. Der Kanal-Name muß für die Datei der Konfigurationsparameter und die der Überwachungsparameter gleich sein

5.3 Hochspannungs-Programm

Das HV-Programm *spc_it_hv* ist der Parameter-Kontroll-Prozess, der die Hochspannungsversorgung der Inneren Spurkammern steuert. Ausgehend von dem bei HERA-B entwickelten SPC-Programm [54] wurde die HV-Steuerung im Rahmen dieser Arbeit an die Bedürfnisse des Inneren Spurkammersystems angepaßt. Dabei wurde besonderen Wert auf das sichere und langsame Hochfahren der Spannungen gelegt, sowie auf die Kommunikation mit den anderen Slow-Control-Programmen des Inneren Spurkammersystems. Mit der neuen Implementierung ist es erst möglich, die Vielzahl der Hochspannungskanäle sicher zu bedienen. Dem Benutzer werden viele Tätigkeiten erleichtert.

Im folgenden werden die Eigenschaften des Prozesses wiedergegeben.

- Über eine graphische Benutzerschnittstelle (GUI) kann der Prozeß gesteuert und überwacht werden.
- Einerseits kann mit Hilfe des GUIs die Spannung am Detektor über Zustandsbefehle für alle Kanäle einheitlich geändert werden, andererseits können einzelne Kanäle oder Gruppen separat bedient werden.
- Die Hochspannung wird bei Bedienung über Zustandsbefehle automatisch in Schritten hochgefahren.
- Die Ströme werden überwacht und im Fall eines Überstromes wird der entsprechende Kanal abgeschaltet.
- Es werden Informationen mit den anderen Programmen der Slow-Control des Inneren Spurkammersystems ausgetauscht.
- Wichtige Schutzfunktionen sind implementiert. Diese sind zusätzlich zu den direkt an der Hardware einstellbaren Grenzen für Strom und Spannung, die bei Überschreitung zur Abschaltung der Hochspannung führen. Somit ist gewährleistet, daß bei Überspannungen und falschen Stromwerten kein Schaden am Detektor auftritt.

Der Benutzer steuert das Programm mit Hilfe von Zustandsbefehlen. Über das GUI kann eine Zustandsänderung befohlen werden. Das gesamte System der Inneren Spurkammern ändert dann alle nötigen Parameter und nimmt den neuen Zustand ein. Diese Bedienung ist erst mit der neuen Version des HV-Programms sinnvoll möglich, da die Spannungen in Schritten hochgefahren werden.

5.4 Zustände der Hochspannung

Die verschiedenen Zustände der Zustandsmaschine der Slow-Control (SMC) wurden in Kapitel 4.1.1 vorgestellt. Die wichtigsten Zustände für die Hochspannung sind hier noch einmal kurz zusammengefaßt:

- **OFF** Die Hochspannung ist ausgeschaltet.
- **INJECTION** Die Hochspannung ist eingeschaltet, jedoch nicht auf ihrem nominellen Betriebswert. Es findet keine Gasverstärkung in den Spurkammern statt. An die Driftelektrode sind -1000 V angelegt, an die Kathode -250 V.
- **ON** Die Hochspannungen sind auf ihrem nominellen Wert für den Betrieb des Detektors. Die Spannung der Driftelektrode beträgt -2400 V und die der Kathode -490 .

Wenn die Schichtbesatzung einen Zustandsübergang einleitet, bewegt sie sich hauptsächlich zwischen diesen Zuständen. Die anderen Zustände werden im normalen Detektorbetrieb nicht benutzt, falls keine Fehler auftreten. Wie schon erwähnt, ist die Bezeichnung und Bedeutung dieser Zustände für alle Detektorkomponenten gleich.

Wenn der Prozeß neu gestartet wird, geht er automatisch in den Zustand "INITIALIZE" über. Hier ist der Zustand der Hardware nicht bekannt.

Von hier aus kann der Benutzer nun "CONFIGURE" anwählen. Der Prozeß evaluiert den tatsächlichen Zustand der Hardware und vergleicht ihn mit den SMC-Zuständen. Dem Prinzip einer Zustandsmaschine folgend muß die Hochspannung immer in einem definierten Zustand sein. Das macht deutlich, warum die zusammenfassenden Zustände "SOMETHING_ON" und "ON_NOT_READY" gebraucht werden. Falls die Hochspannung in den eindeutig definierten Zuständen "ON", "INJECTION" oder "OFF" ist, wird der passende Zustand eingenommen. Wenn die Hochspannung aber nicht so eindeutig zugeordnet werden kann, werden die zusammenfassenden Zustände eingenommen.

5.4.1 Übergänge zwischen den Zuständen der Zustandsmaschine

Die Zustände der Zustandsmaschine (SMC) sind global und für alle Detektoren gleich. Jedes System befindet sich zu jedem Zeitpunkt entweder in einem definierten Zustand der Zustandsmaschine oder in einem Übergang zwischen zwei Zuständen. Es gibt zwei Möglichkeiten dafür, daß ein System in einen neuen Zustand wechselt:

- Der Benutzer kann mit Hilfe der graphischen Benutzerschnittstelle einen Zustandsübergang befehlen. Das System ändert dann auf dem vorgeschriebenen Weg seine Parameter dem neuen Zustand entsprechend. Will der Benutzer zum Beispiel von "OFF" nach "INJECTION", wird die Spannung hochgeregelt.
- Das System ändert ohne Eingreifen des Benutzers seinen Zustand. Dies ist immer dann der Fall, wenn der Prozeß *spc_it_hv* neu gestartet wird. Beim Neustart geht der

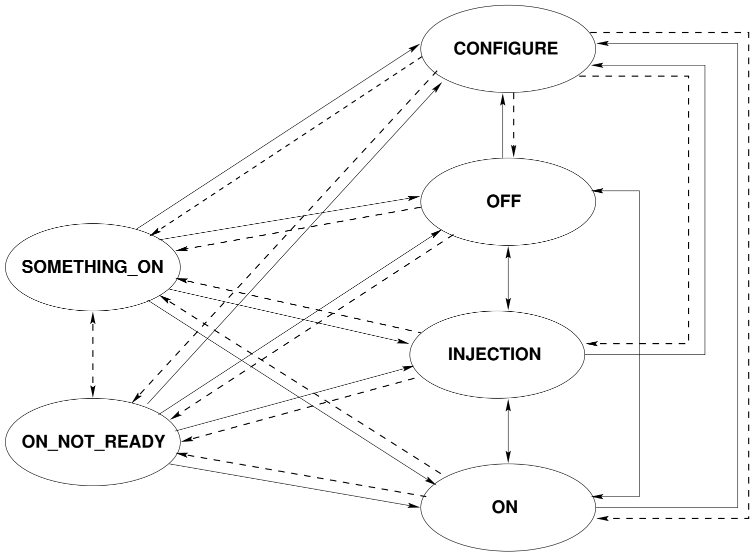


Abbildung 5.2: Übersicht über die Zustände der SMC. "STOP" und "INITIALIZE" und "ERROR" sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in diesem Diagramm nicht eingezeichnet. Diese Zustände sind von allen anderen aus erreichbar. Gestrichelte Linien stehen für Übergänge, die vom Benutzer nicht veranlaßt werden können.

Prozeß automatisch nach "INITIALIZE" ohne, daß der Benutzer dies explizit befiehlt. Der einzig mögliche Übergang von hier aus ist nach "CONFIGURE". Der Zustand "CONFIGURE" nimmt insofern einen Sonderstatus ein, als in diesem Zustand der tatsächliche Hardware-Zustand ermittelt wird. Die anliegende Hochspannung wird ausgelesen und auf die möglichen Zustände abgebildet. Die Parameter haben in "CONFIGURE" keinen festgelegten Wert. Sobald der Hardware-Zustand ermittelt wurde, wechselt das System automatisch in den passenden Zustand. Entspricht die Spannung nicht genau "ON", "INJECTION" oder "OFF", wird der entsprechende Zwischenzustand "SOMETHING_ON" oder "ON_NOT_READY" eingenommen.

In Abbildung 5.2 sind die meisten Zustände der SMC aufgezeichnet. "STOP", "INITIALIZE" und "ERROR" wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit ausgelassen. All diese drei Zustände sind von jedem anderen Zustand aus erreichbar, jedoch kann der Benutzer nicht den Übergang nach "ERROR" befehlen. Die Pfeile deuten an, daß ein Zustandsübergang in dieser Richtung möglich ist. Gestrichelte Linien weisen darauf hin, daß dieser Übergang nicht vom Benutzer veranlaßt werden kann.

Bei einem Problem in der Hardware ändert sich der Zustand des Prozesses, zum Beispiel von "ON" nach "ON_NOT_READY", und in den einzelnen Kanälen treten Fehler auf, die durch `Warning` oder `Error` gekennzeichnet werden. Sobald sich eine bestimmte Anzahl von Kanälen in fehlerhaftem Zustand befindet, geht das gesamte System in den Zustand "ERROR" über[1].

[1]Die Anzahl der Kanäle, die sich in fehlerhaftem Zustand befinden dürfen, bevor das gesamte System in den Zustand "ERROR" übergeht, ist im Quellcode festgelegt.

5.4.2 Zustände der SPC

Als Problem für das System der Inneren Spurkammern ergab sich die Tatsache, daß von der allgemeinen System-Parameter-Kontrolle kein Hochfahren der Spannungen in Schritten vorgesehen war, und auch nicht auf einfache Art implementiert werden konnte, ohne daß das gesamte Konzept durcheinander gebracht wurde. Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieser Dipomarbeit eine Umstrukturierung vorgenommen, die es nun ermöglicht, die Hochspannungen des Inneren Spurkammersystems kontrolliert und in Schritten hochzufahren.

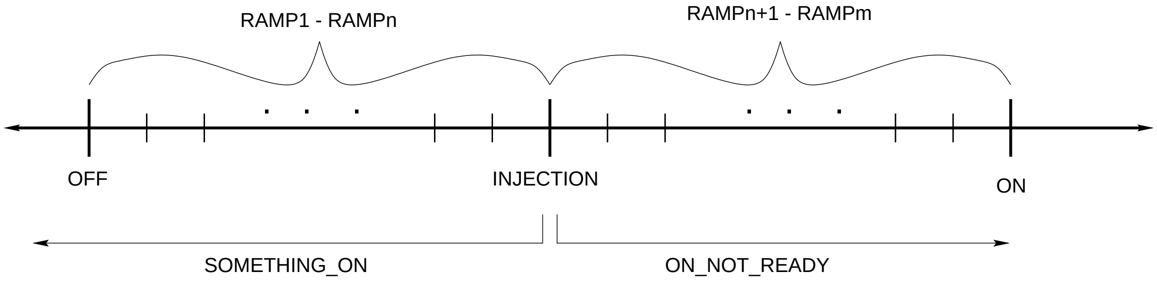


Abbildung 5.3: Die Anordnung der Zustände [53]. Die Zustände, die mit dicken Strichen eingezeichnet sind, sind SMC-Zustände ("OFF", "INJECTION", "ON"), die Zwischenschritte "RAMP1" - "RAMPm" sind SPC-Zustände.

Mit der Software in ihrer neuen Implementierung ist es möglich, diverse Zwischen-Zustände innerhalb des Gerüstes der Zustandsmaschine einzubauen. Die Zwischen-Zustände müssen sich aber eindeutig auf die Zustände der Zustandsmaschine abbilden lassen. Sie können vom Benutzer definiert werden und verschieden sein für die unterschiedlichen Komponenten. Von außen sichtbar ist für das jeweilige System aber immer nur der Zustand der globalen Zustandsmaschine. So ist gewährleistet, daß der gesamte Detektor zentral gesteuert werden kann. Für die verschiedenen Zwischenschritte zum Hochfahren der Spannung des Inneren Spurkammersystems wurden solche Zwischenzustände benutzt.

Es werden folgende Bedingungen an die Zustände gestellt:

- Die SPC-Zustände (Ramp-Zustände) müssen in aufsteigender Reihenfolge angeordnet sein.
- Die SMC-Zustände "SOMETHING_ON" und "ON_NOT_READY" sind die Zusammenfassung der Ramp-Zustände, die selber keine wirklichen SMC-Zustände sind, sondern von dem Benutzer definiert werden können. Siehe Abbildung 5.3.

In Tabelle 5.1 sind die verschiedenen Ramp-Zustände mit den SMC-Zuständen dargestellt. Die Inneren Spurkammern benötigen 8 verschiedene Ramp-Zustände.

state	SMC state	SPC state	U_{kath} in V	U_{drift} in V
STOP	1	1	-	-
ERROR	2	2	-	-
INITIALIZE	3	3	-	-
CONFIGURE	4	4	-	-
ZERO	-	5	-	-
OFF	**5**	**6**	**0**	**0**
SOMETHING_ON	6	7	-	-
RAMP1	-	8	0	0
RAMP2	-	9	−20	−1000
RAMP3	-	10	−250	−1000
INJECTION	**7**	**11**	**−250**	**−1000**
ON_NOT_READY	8	12	-	-
RAMP4	-	13	−250	−1000
RAMP5	-	14	−400	−2000
RAMP6	-	15	−450	−2000
RAMP7	-	16	−490	−2000
RAMP8	-	17	−490	−2200
RAMP9	-	18	−490	−2400
ON	**9**	**19**	**−490**	**−2400**
TOO_HI	-	20	-	-

Tabelle 5.1: Hier ist die Implementierung der Zustände für das Innere Spurkammersystem zu sehen. Es ist jeweils gekennzeichnet, ob es sich um einen Zustand der Zustandsmaschine (SMC) handelt. Teilweise unterscheiden sich mehrere SPC-Zustände nicht voneinander. Der Grund liegt in der internen Zustands-Logik, die jedem Spannungszustand auch einen Ramp-Zustand (SPC-Zustand) zuordnen muß. Die angelegten Spannungen *(Stand April 2000)* sind aufgelistet.

5.5 Hochfahren der Spannungen

Für einen sicheren Kammerbetrieb ist es unerläßlich, daß alle Spannungen langsam hochgefahren werden. Da im Laufe des Jahres 1999 fast alle MSGC-Stationen vollständig eingebaut werden konnten, wuchs die Anzahl der zu bedienenden Hochspannungs-Kanäle stark an (März 2000: 54 Hochspannungskanäle am CAEN sind in Betrieb; manche Strommeßboxen werden mit weniger als 8 Ausgängen betrieben). Bei solch einem großen System ist es für den Benutzer nicht mehr möglich, den Gesamtüberblick zu behalten und alle Spannungen von Hand einzustellen und zu überwachen. Für das System der Inneren Spurkammern wurde im Rahmen dieser Arbeit die SPC-Software so weiterentwickelt, daß das Hochfahren der Kanäle automatisch und in verschiedenen Stufen abläuft. Im folgenden Abschnitt wird dieses sogenannte Rampen erläutert.

Die Spannungen an den Inneren Spurkammern werden in verschiedenen Schritten hochgefahren. In Abbildung 5.4 ist zu sehen, wie die Spannungen für Driftelektrode, Kathode und GEM-Folie nacheinander hochgeregelt werden, wobei die beiden Spannungen für die GEM-Folie, die aus der Driftspannung gewonnen werden, mit Hilfe der GEM-Verteilerbox eingestellt werden.

Kathoden- und Driftelektrodenspannung werden gleichzeitig, aber in verschiedenen Schritten, angelegt. Wenn sich die Hardware im Zustand "OFF" befindet und per Knopf-

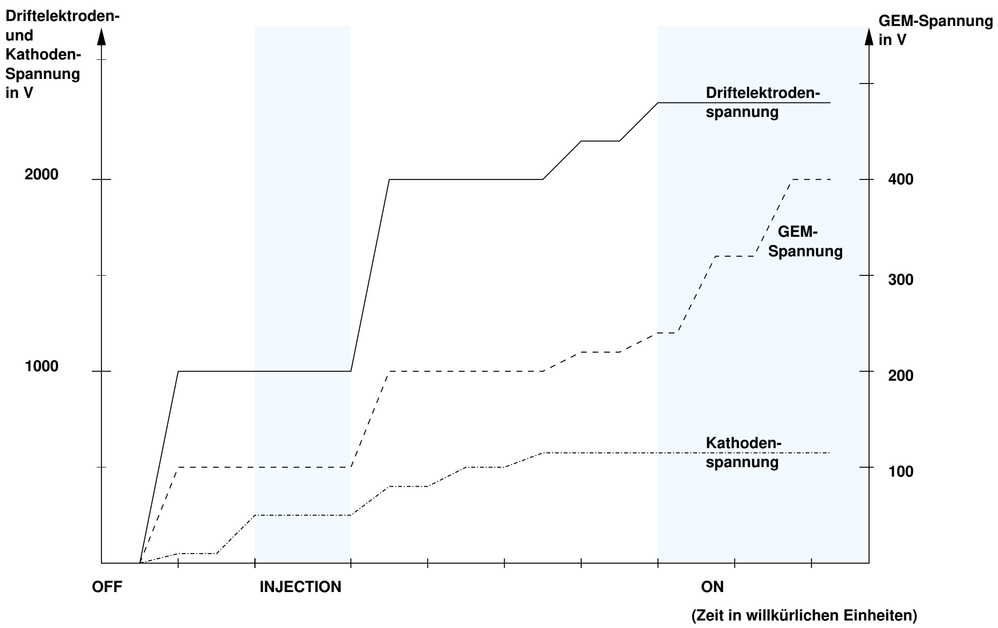


Abbildung 5.4: Übersicht über das Hochfahren der verschiedenen Spannungen. Die GEM- Spannung wird erst dann geregelt, wenn Kathode und Drift ihre endgültigen Spannungen erreicht haben. In den unterlegten Bereichen entspricht der Zustand des Systems "INJECTION" bzw. "ON". Zu beachten ist, daß sich die GEM-Spannung noch nicht bei ihrem endgültigen Wert befindet, wenn der HV-Kontroll-Prozeß, der die Kathoden und die Driftelektroden-Spannungen regelt, schon im Zustand "ON" ist.

Zustand	U_{kath} in V	U_{drift} in V	U_{GEM} in V
OFF	**0**	**0**	**0**
Schritt 1	–20	–1000	100
INJECTION	**–250**	**–1000**	**100**
Schritt 2	–400	–2000	200
Schritt 3	–450	–2000	200
Schritt 4	–490	–2000	200
Schritt 5	–490	–2200	220
Schritt 6	–490	–2400	240
ON	**–490**	**–2400**	**240**

Tabelle 5.2: Hier sind die verschiedenen Werte der Spannungen zu sehen, die während des Hochfahrens eingenommen werden (Stand April 2000).

druck auf der Benutzerschnittstelle die Hochspannung eingeschaltet wird, so fährt die Software sukzessive in den Rampschritten die Spannung hoch. In Tabelle 5.2 sind die Zahlenwerte für U_{drift} , U_{kath} und U_{GEM} noch einmal explizit aufgeführt. Nach jedem Schritt wird die Spannung auf diesem Wert gehalten und die Ströme der Strommeßboxen werden überprüft. Wenn kein Fehler aufgetreten ist, kann die Spannung weiter hochgefahren werden.

In dem Zustand "ON" haben die Spannungen für Kathode und Driftelektrode ihren Endwert erreicht. Da die Spannungen der GEM-Folien aus der Driftelektroden-Spannung mit Hilfe eines Spannungsteilers erzeugt werden, erhöhen sich die Spannungen der GEM-Folien automatisch, sobald die Driftelektroden mit Spannung versorgt werden. Die Spannung der GEM-Folie wird allerdings solange auf dem niedrigst möglichen Niveau gehalten, den die Spannungsteilerkette erlaubt (ca. 10% der Driftelektroden-Spannung), bis Kathoden- und Driftelektrodenspannung ihren endgültigen Wert erreicht haben. Erst dann, also wenn der HV-Kontroll-Prozeß in den Zustand "ON" übergegangen ist, wird die Spannung der GEM-Folie nachgeregelt. Das bedeutet natürlich, daß obwohl sich die Hochspannungskontrolle der Inneren Spurkammern im Zustand "ON" befindet, solange noch keine ausreichende Gasverstärkung stattfindet, bis auch der Parameter-Kontroll-Prozeß, der die GEM-Spannung regelt, in den Zustand "ON" gewechselt ist. Die Zustandsmaschinen der beiden Slow-Control-Prozesse *spc_it_hv* und *spc_it_gem* sind nicht miteinander verknüpft.

Für den Gesamtbetrieb stellt das jedoch keine Einschränkung dar, da der Slow-Control-Knoten des Inneren-Spurkammersystems den kleinstmöglichen Nenner aller Zustände der Parameter-Kontroll-Prozesse einnimmt. Er geht erst dann in den Gesamt-Zustand "ON", wenn alle Sub-Prozesse in diesem Zustand sind. Die Einbindung des Spannungszustandes der GEM in die Zustandsmaschine der HV-Kontrolle ist aber für spätere Versionen vorgesehen.

5.5.1 Evaluierung des Zustandes

Es ist eine neue Eigenschaft des HV-Control Programmes, den tatsächlichen Hardware-Zustand des Systems zu evaluieren und auf einen SMC-Zustand abzubilden. Im oberen Teil der Abbildung 5.5 ist am Beispiel eines Überganges von "OFF" nach "INJECTION" zu sehen, wie sich ein System aus 3 Kanälen verhält:

Wenn alle Kanäle des Systems im Zustand "OFF" sind, ist auch der Zustand des Gesamtsystems "OFF". Nachdem der Befehl gekommen ist "Gehe nach INJECTION", wird für die Kanäle die Spannung hochgesetzt. Das Hochfahren geschieht so, daß die Kanäle nacheinander die Ramp-Zustände durchlaufen.

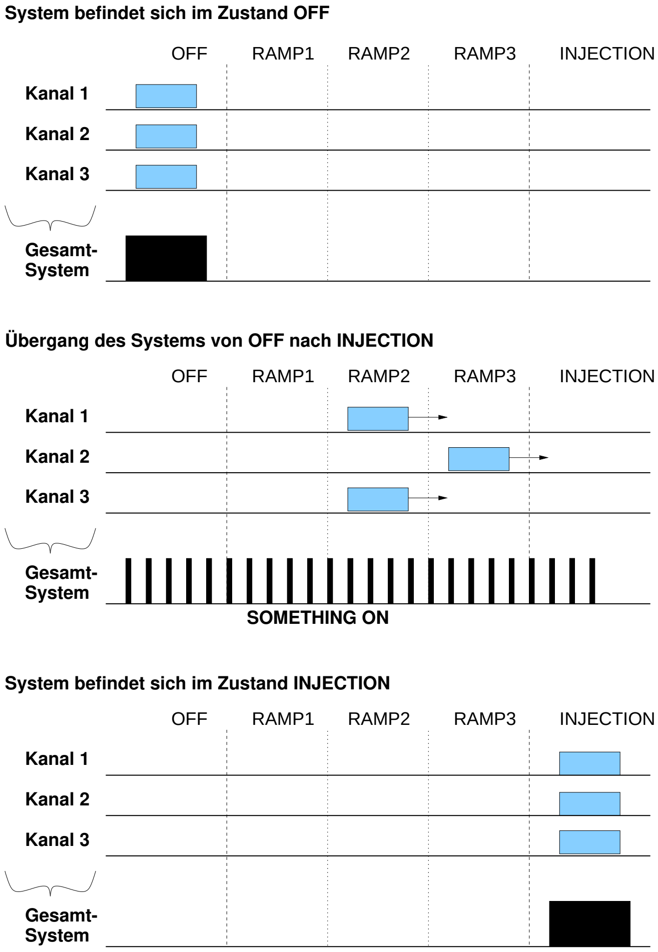


Abbildung 5.5: Hier ist dargestellt, wie sich die SPC-Zustände der einzelnen Kanäle auf den Gesamtzustand des Systems abbilden lassen. Im oberen Bild sind alle Kanäle im Zustand "OFF" und damit auch das Gesamtsystem. Nun wird der Befehl erteilt, in den Zustand "INJECTION" zu wechseln. Im mittleren Bild durchlaufen die Kanäle gerade Zustandsänderungen; das Gesamtsystem befindet sich entsprechend im Zustand "SOMETHING_ON". Im letzten Bild haben alle Kanäle den Ziel-Zustand erreicht, somit befindet sich auch das Gesamtsystem in diesem Zustand.

Intern wird der Befehl in viele kleine Teilschritte übersetzt:

1. Gehe nach "RAMP1".
2. Wenn alle Kanäle mindestens den Zustand "RAMP1" erreicht haben, gehe nach "RAMP2".
3. Wenn alle Kanäle mindestens den Zustand "RAMP2" erreicht haben, gehe nach "RAMP3".
4. Wenn alle Kanäle mindestens den Zustand "RAMP3" erreicht haben, gehe nach "INJECTION".

Dabei kann es passieren, daß sich die Kanäle nicht gleichzeitig durch die Ramp-Zustände bewegen. Außerden können die Spannungen unterschiedlicher Kanäle für die gleichen Zustände verschiedene Werte haben (siehe Tabelle 5.1 für die Spannungen der Zustände).

Die Logik, die hinter den Zustandsübergängen zwischen den Ramp-Zuständen steht, soll im folgenden kurz erläutert werden.

Die Abbildung 5.6 illustriert den Übergang eines Driftelektroden-Kanals von "OFF" nach "INJECTION". Die großen gestrichelten Ovale um die Zustände fassen diejenigen

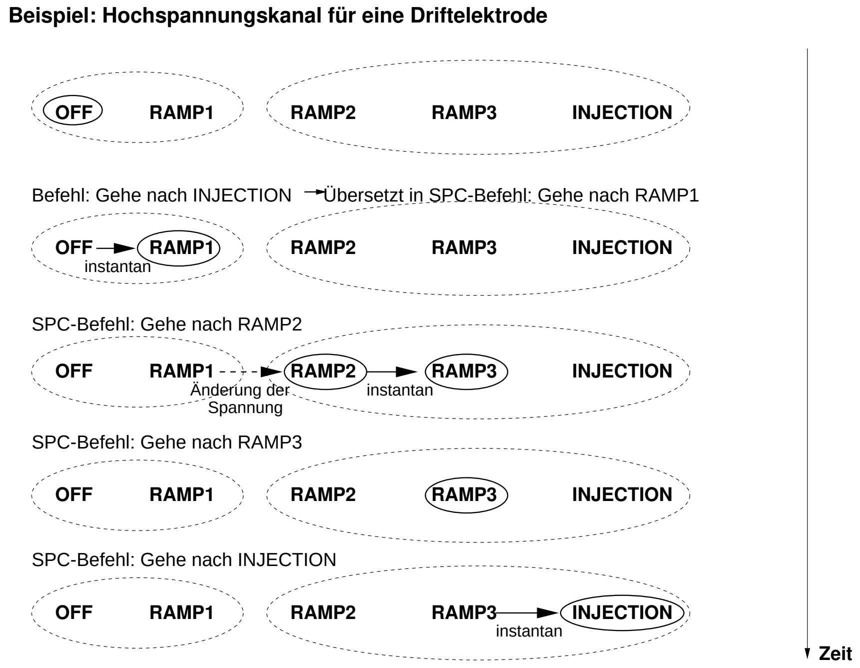


Abbildung 5.6: Am Beispiel eines Zustandsübergangs für einen Driftelektroden-Kanal ist dargestellt, wie der Übergang von "OFF" nach "INJECTION" stattfindet. Der Weg des Systems durch die verschiedenen Zustände ist durch die kleinen Ovale um die Zustände angedeutet. Es gibt nur einen tatsächlichen Spannungsschritt zwischen "OFF" und "INJECTION". Die Zustände, die einer gleichen Hochspannung entsprechen, sind durch die großen Ovale gekennzeichnet. Der Übergang zwischen zwei Ramp-Zuständen, die gleichen Spannungs-Zuständen entsprechen, erfolgt ohne Zeitverzögerung

Zustände zusammen, die die gleichen Hochspannungswerte haben. Das kleine Oval, das immer nur einen Zustand umfaßt, zeigt die momentane Situation des Kanals.

Wenn der Befehl zu dem Zustandübergang erfolgt, wird der tatsächliche Hardware-Zustand des Kanals evaluiert. Da sich “RAMP1” in seinen Hochspannungswerten nicht von “OFF” unterscheidet, wird instantan der in der Logik höher liegende Zustand “RAMP1” eingenommen. Auf diesem Zustand bleibt der Kanal solange stehen, bis der interne Befehl zum Übergang auf den nächsthöheren Ramp-Zustand kommt.

Der Schritt nach “RAMP2” erfordert eine Spannungsänderung und braucht deshalb eine gewisse Zeit. Da sich für die Driftelektrode die Ramp-Zustände zwei und drei in der Spannung nicht mehr unterscheiden, finden die weiteren Übergänge wieder instantan statt.

Diese Zustandslogik wird nur für die SPC-Zustände angewendet.

5.5.2 Steuerung der Hochspannungs-Verteiler

Die Steuerungen der GEM-Verteiler- und der Strommeßboxen werden von den Parameter-Kontroll-Prozessen *spc_it_gem* und *spc_it_hvcur* geregelt. Während die Strommesser bis auf die Tatsache, daß sie die Drift- und Kathoden-Spannungen über ein Sicherheitsrelais abschalten können, die Spannungen nicht aktiv regeln, sondern die Ströme im Nano-Ampère-Bereich messen, wird in den GEM-Verteilerboxen die Spannung geregelt, wie in Kapitel 4.2.3 erläutert ist. Wie für alle Parameter-Kontroll-Prozesse sind zur Steuerung der beiden Prozesse jeweils zwei Dateien nötig. In den Überwachungsdateien stehen Alarm- und Warnungsgrenzen. Auf den Inhalt der Konfigurationsdateien für die GEM-Verteiler- und die Strommeßboxen wird im folgenden eingegangen.

Konfigurationsdatei für die Strommeßbox

Die Konfigurationsdatei des Prozesses *spc_it_hvcur* enthält analog zu der des HV-Steuerungsprozesses *spc_it_hv* eine Kanalnummer, mit der der jeweilige Ausgang an der Strommeßbox spezifiziert wird und die zugehörige Hardware-Adresse. Außerdem ist der absolute Grenzwert für den Strom in Nano-Ampère angegeben.

Konfigurationsdatei für die GEM-Verteilerbox

Wie in den anderen Konfigurationsdateien sind auch in der für die GEM-Verteilerbox Kanalname und Hardware-Adressen angegeben. Zusätzlich ist der Wert für die Differenzspannung der beiden Seiten der GEM-Folie angegeben, sowie der DAC-over-Wert, der die maximale Differenz der Spannung bestimmt. In der Datei werden die verschiedenen Zeitspannen und Spannungswerte angegeben, welche die “Spark-Erkennung” regeln, die in Kapitel 4.2.3 beschrieben ist.

Es ist geplant, für die GEM-Boxen ein vergleichbares Hochfahren in Spannungsschritten, wie es im Rahmen dieser Arbeit für die Hochspannungsversorgung mit dem CAEN-Gerät realisiert wurde, zu implementieren. Derzeit müssen die GEM-Spannungen von

Hand in Stufen auf Werte gefahren werden, die für alle GEM-Folien sicher sind, und werden dann nach einer Wartezeit von mehreren Minuten von der Software in einem Schritt auf den endgültigen Wert gesetzt, der von Kanal zu Kanal verschieden sein kann, um eventuell unterschiedliche Gasverstärkungen in den Kammern auszugleichen. Die Wartezeit zwischen den einzelnen Schritten ist nötig, um die GEM-Folien nicht in einem Schritt der vollen Gasverstärkung auszusetzen und um die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Überschlags so gering wie möglich zu halten. Da die Umstellung jedoch einen massiven Eingriff in die Software bedeutet, konnte dieses automatische Hochfahren in Schritten noch nicht eingebaut werden.

5.6 Kommunikation zwischen den Slow-Control-Programmen

Damit sich die verschiedenen laufenden Programme der Slow-Control aufeinander abstimmen können bzw. Informationen gegenseitig nutzen können, die nur einem der Programme bekannt sind, müssen Nachrichten zwischen ihnen versandt werden. Die Programme können damit selbständig auf Änderungen im Zustand der Hardware, auf die sie keinen direkten Zugriff haben, reagieren. Zum Austausch von Nachrichten wird das Protokoll RPM verwendet, das in Kapitel 4.1.3 genauer erläutert wurde. Für die Zwecke des Inneren Spurkammersystems sollte sowohl das Programm *spc_it_hvcur* Nachrichten an das HV-Programm senden, sowie das HV-Programm Nachrichten an das Programm *spc_it_gem*. Beide Mechanismen werden in diesem Kapitel erläutert.

5.6.1 Nachrichtenprotokoll zwischen HV-Programm und *spc_it_hvcur*

Da die Informationen über die Ströme, die das CAEN-Gerät mißt, unzureichend sind, weil zum einen acht Ausgänge an der Strommeßbox von einem HV-Kanal bedient werden und zum anderen die Genauigkeit des Meßwerts zu gering ist (CAEN-Gerät mißt im Mikro-Ampère-Bereich), muß die detailliertere Information der Strommeßbox mit Hilfe des Nachrichtenprotokolls RPM (siehe Kapitel 4.1.3) von dem Prozeß *spc_it_hvcur* zum HV-Prozeß übermittelt werden. Hierbei ist es jedoch nicht nötig, die gemessenen Ströme für jeden Ausgangs-Kanal separat zu übermitteln, da der HV-Prozeß nur für eine Box insgesamt reagieren kann. Die Nachrichten müssen regelmäßig mit neuen Daten wiederholt werden, damit ständig aktuelle Informationen vorliegen.

Der Prozeß *spc_it_hvcur* meldet sich als *client* bei dem HV-Programm an, das als *server*

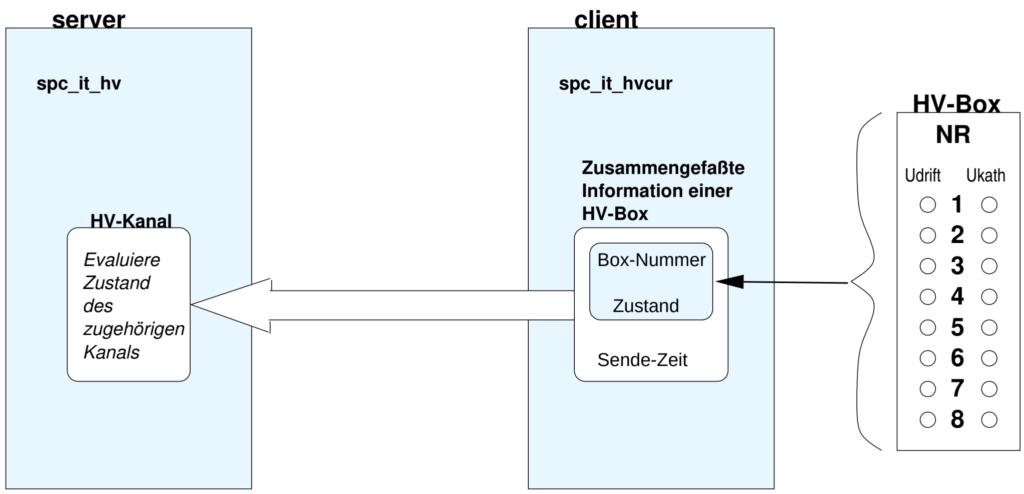


Abbildung 5.7: Im Programm *spc_it_hvcur* werden die Informationen einer Box (Nummer der Box und deren Zustand) zusammengefaßt und mit der Sendezeit an den Prozeß *spc_it_hv* verschickt.

dient. Sobald der *client* den *server* lokalisiert und sich angemeldet hat, ist eine Verbindung zwischen den beiden laufenden Programmen hergestellt. Hierbei wird für diesen Zweck die Variante des Nachrichtenaustausches benutzt, bei welcher der *client* unaufgefordert Nachrichten an den *server* schickt. Da das Programm *spc_it_hvcur* die Nachrichten über den Zustand der Strommeßboxen immer wieder neu schickt, ist die unsichere Übertragung ohne Empfangsgarantie nicht kritisch. Falls mehrere Nachrichten am Stück nicht beim *server* angekommen sind, läuft bei dem HV-Programm ein Timer ab, und der entsprechende Kanal geht in einen Fehler-Zustand über.

In Abbildung 5.7 ist der Informationsfluß dargestellt. Der große Pfeil entspricht der RPM-Nachricht, die vom *client* an den *server* geschickt wird. Das HVcur-Programm sendet jeweils pro Box eine Nachricht, die folgenden Inhalt hat:

- die Boxnummer

- der Zustand der Box, in diesem Fall, ob die Box "ok" ist, oder "nicht ok". Bei einem "nicht ok" werden für alle Ausgänge die Spannungen über das Sicherheitsrelais abgeschaltet. Ein "nicht ok" tritt auf sobald in mindestens einem Ausgangskanal ein Fehler aufgetreten ist.

- die Uhrzeit, zu der die Nachricht generiert wurde. Es ist nötig, diese Information mit zu schicken und nicht einfach die Zeit zu nutzen, zu der die Nachricht beim HV-Programm eingeht, da es eventuell Verzögerungen in der Übertragung geben kann, so daß Nachrichten sehr viel später beim Empfänger eintreffen, als sie gesandt wurden.

5.6.2 Fehlerzustände.

Die Nachrichten der Strommeßboxen können verschiedene Fehlerzustände im HV-Kontroll-Prozeß auslösen. Dies sind benutzerdefinierte Fehler und sie werden im Programm auch als solche gekennzeichnet. Die Implementierung der Fehlerzustände wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit verwirklicht.

- Eine HV-Box sendet ein "nicht ok" und der entsprechende HV-Kanal geht in den Error-Zustand mit dem Fehlercode "CURRENT_ERR". Es gehen gleichzeitig Driftelektroden- und Kathoden-Kanal in den Zustand "Error", weil sie an derselben Box angeschlossen sind.

- Die letzte Nachricht wird erst gesendet, nachdem eine festegesetzte Zeitperiode überschritten ist. Diese Periode ist in der Variablen "BOX_MSG_TIMEOUT" gespeichert. Der entsprechende Kanal geht dann in den Zustand Error mit dem Code "MSG_TIMEOUT".

5.6.3 Fehlerbehandlung.

Ist einer der oben genannten Fehler aufgetreten, so muß das HV-Programm darauf reagieren. Bei Beendigung eines Ramp-Schritts werden die empfangenen Nachrichten überprüft. Verschiedene Fehler werden unterschiedlich behandelt.

Im Falle des "CURRENT_ERR" wird die Spannung des entsprechenden Kanals ausgeschaltet. Wenn eine Box ein "nicht ok" gesendet hat, treten wie oben erwähnt immer partnerweise Fehler auf und je ein Kanal des CAEN-Gerätes für die Driftelektrode und einer für die dazugehörige Kathode werden abgeschaltet. Dies ist für die Sicherheit des Kammerbetriebs sehr wichtig. Wenn die Spannungen am HV-Versorgungsgerät nicht ausgeschaltet würden, lägen zwar an den betreffenden Kammern keine Hochspannungen an, da die Relais der Strommeßboxen offen sind. Bei einem Wiedereinschalten der Strommeßbox würde jedoch auf einen Schlag die gesamte Spannung anliegen. Dies muß unbedingt vermieden werden, da es sonst vermehrt zu Kurzschlüssen kommt und die Strommeßboxen beschädigt werden können. Bei einem "CURRENT_ERR" wird also die Hochspannung am Versorgungsgerät ausgeschaltet. Sendet die entsprechende Box dann nach einiger Zeit wieder ein "ok", so gehen beide Kanäle in den Zustand "ok". Nun können die Spannungen wieder hochgefahren werden.

Falls die Sendezeit der letzten empfangenen Nachricht schon zu lange her ist, und dementsprechend der Timer für das Eintreffen einer neuen Nachricht abgelaufen ist, wird ein "Timeout" erzeugt. In diesem Fall geht der entsprechende Kanal zwar in den Zustand Error, aber die Spannung wird nicht automatisch ausgeschaltet. Der Benutzer des Programmes soll nur gewarnt werden, daß schon seit längerer Zeit kein neuer Zustandsbericht mehr von den Boxen angekommen ist. Es ist nun nicht möglich die Spannung weiter hochzuregeln. Kommt wieder eine neue Nachricht von der Box an, so daß kein Timeout mehr besteht, geht der entsprechende Kanal wieder in den Zustand "ok" und kann nun ganz normal weiter hochgefahren werden.

Auf jedem Spannungs-Plateau werden die oben genannten möglichen Fehler überprüft. Die Spannung wird erst dann weiter hochgefahren, wenn weder ein Timeout noch ein "nicht ok" von der Box aufgetreten ist.

5.6.4 Nachrichtenprotokoll zwischen HV-Programm und *spc_it_gem*

Damit die Spannungen der GEM-Folien erst dann geregelt werden können, wenn die vollen Betriebsspannungen an den Driftelektoden und Kathoden anliegen, ist es nötig, daß das GEM-Programm keine Regelung zuläßt, bis der HV-Prozeß in den Zustand "ON" gewechselt hat. Zu diesem Zweck verschickt das HV-Programm ein "ok" beziehungsweise ein "nicht ok" an das GEM-Programm. In Abbildung 5.8 ist die Kommunikation zwischen den beiden Programmen dargestellt. Solange das HV-Programm noch kein "ok" geschickt hat, kann die GEM-Spannung nicht über den Minimal-Wert gefahren werden. Noch nicht implementiert ist allerdings das automatische Heruntersetzen der GEM-Spannung, wenn das HV-Programm den Zustand "ON" verlassen hat. Dies ist in der nächsten Version der Software für die Steuerung der GEM-Boxen vorgesehen.

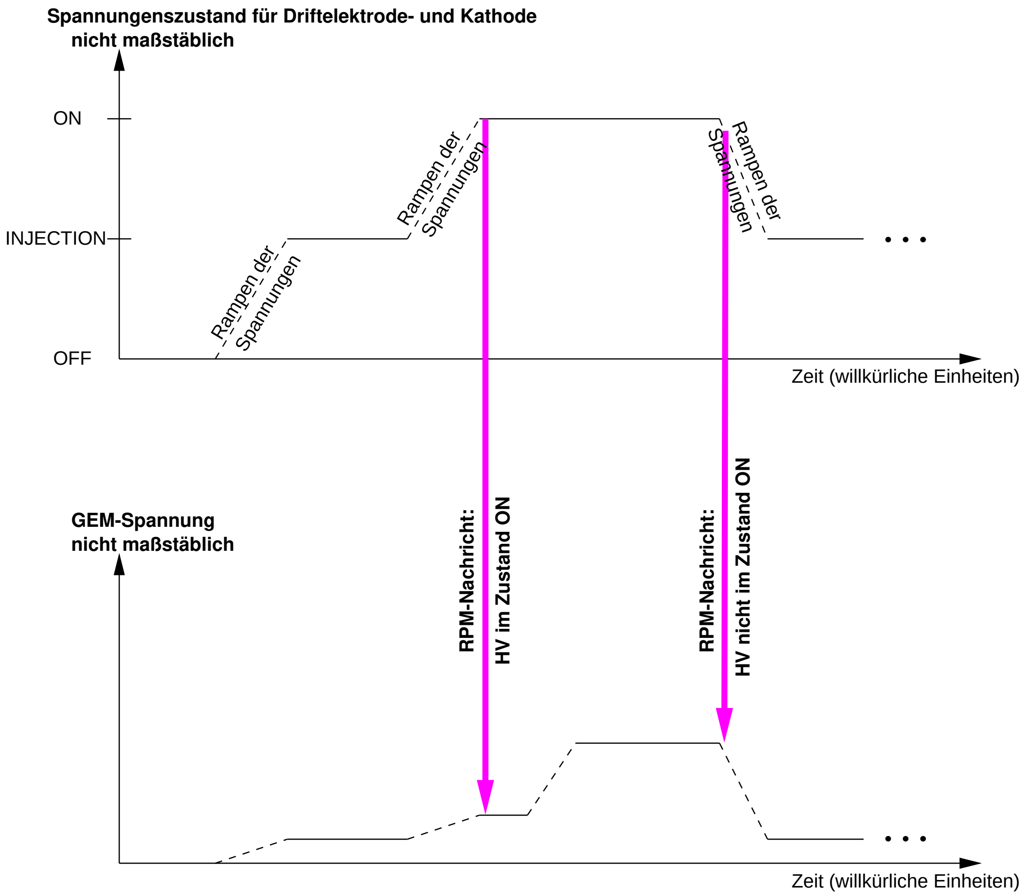


Abbildung 5.8: Sobald das HV-Programm den Zustand "ON" erreicht hat, wird eine RPM-Nachricht an das GEM-Programm geschickt, worauf hin es möglich ist, die Spannung der GEM-Folien zu regeln. Verläßt das HV-Programm den Zustand "ON", wird ebenfalls eine Nachricht an das GEM-Programm geschickt. In der Abbildung sind Kathoden- und Driftspannungen zusammengefaßt, auch die Ramp-Zustände sind der Übersichtlichkeit wegen nicht eingezeichnet. Die GEM-Spannung muß der Driftelektrode im Spannungszustand folgen, da aus sie aus deren Spannung mit einem Spannungsteiler erzeugt wird. Der niedrigste einstellbare Wert beträgt ungefähr 10% der Driftelektroden-Spannung.

5.6.5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit ist es ermöglicht worden, das vollständige System der Inneren Spurkammern in verschiedenen Schritten mit Hochspannung zu versorgen und zu bedienen. Dabei wurde besonderer Wert auf die Sicherheit der GEM-MSGCs gelegt. Das System ist voll einsatzfähig und wird seit November 1999 so betrieben, daß eine sinnvolle Datennahme mit den Kammern gewährleistet ist.

Das nächste Kapitel stellt eine Behandlung der Daten dar, die seit Februar 2000 aufgezeichnet wurden und widmet sich hauptsächlich dem Einfluß der verschiedenen Hochspannungseinstellungen auf den Betrieb der GEM-MSGCs.

Kapitel 6

Untersuchung zu den Betriebsparametern der GEM-MSGCs

Bei längerem Betrieb der GEM-MSGC-Kammern des Inneren Spurkammersystems bei HERA-B mußte festgestellt werden, daß die Hochspannungsparameter, so wie sie ursprünglich gewählt wurden, für den dauerhaften Betrieb unter diesen Bedingungen nicht geeignet sind. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Kurzschlüssen auf Kathodengruppen ist unerwartet hoch, wie in Kapitel 3 beschrieben wird. Deshalb mußte auf niedrigere Driftelektroden-Spannungen ausgewichen werden, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten. Bei einer Änderung der Kammerparameter ist es natürlich neben der Sicherheit des Systems sehr wichtig, daß die Qualität der genommenen Daten nicht leidet. Um dies sicherzustellen, wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit eine Analyse der Daten mit verschiedenen Einstellungen vorgenommen. Das Ziel ist die Evaluierung der Änderung wichtiger Größen mit den Betriebsparametern, um bestmögliche Betriebspunkte für die GEM-MSGCs unter HERA-B-Bedingungen zu finden. Die GEM- und Kathodenspannungen müssen dabei vorsichtig erhöht werden, denn bei zu hohen Werten tritt wieder die Gefahr von Kurzschlüssen auf Kathodengruppen oder Überschlägen zwischen GEM-Ober- und Unterseite auf.

Die Analyse der Rohdaten beruht auf einem Algorithmus, der Spursignale in einer GEM-MSGC-Kammer möglichst effizient findet und dabei elektronisches Rauschen so gut wie möglich unterdrückt. Wie seit kurzem bekannt ist, hat der in dieser Arbeit verwendete Algorithmus prinzipielle Probleme, welche die Rauschunterdrückung beeinträchtigen. Eine erste erneuerte Version des Algorithmus verspricht sehr viel bessere Ergebnisse. Leider konnte der verbesserte Algorithmus für die vorliegende Analyse nicht mehr eingesetzt werden. Mit den Methoden, die hier entwickelt wurden, können aber in Zukunft die mit der neuen Version behandelten Daten zügig bearbeitet werden. Dabei können eventuell Unschlüssigkeiten in den hier vorgestellten Diagrammen aufgeklärt werden.

Dennoch sind die hier vorgestellten Ergebnisse aussagekräftig und können wertvolle Erfahrungen zu den Änderungen der in diesem Kapitel vorgestellten Größen mit den Betriebsparametern liefern.

6.1 Datenbehandlung

Bei HERA-B kann wie schon erwähnt alle 96 ns eine neue Wechselwirkung zwischen den Targetdrähten und dem Protonen-Strahl stattfinden, die zu einem Signal in den MSGC-Kammern führt. Diese Zeitspanne ergibt sich aus dem Füllschema des HERA-Speicherrings, das im folgenden beschrieben wird.

Füllschema des HERA-Speicherrings

Die Protonen im HERA-Ring sind in diskreten Paketen gebündelt (englisch: Bunch), die in regelmäßigen Abständen angeordnet sind. Die Frequenz, mit der die Bunche einen festen Punkt passieren, wird als Bunchcrossing-Frequenz oder Bunchcrossing-Clock (BX-Clock) bezeichnet. Die Bunche des Protonen-Strahls bei HERA haben eine Frequenz von 10,4 MHz (entsprechend einem Abstand zwischen zwei Bunchen von 96 ns) und bestehen aus $\mathcal{O}(10^{10})$ Protonen. Allerdings sind aufgrund des Füllschemas des Protonen-Speicherrings, zu dem die Vorbeschleuniger Linac III, DESY III und PETRA verwendet werden, nicht alle möglichen Bunchpositionen mit Protonen gefüllt, deshalb ergibt sich ein Bunchcrossing-Spektrum, wie in Abbildung 6.1 zu sehen ist. Dieses Füllschema sollte bei richtiger Synchronisation der einzelnen Detektor-Komponenten untereinander auch in den ausgelesenen Daten wiedergefunden werden, denn in den nicht gefüllten Bunchen findet keine Wechselwirkung am Target statt.

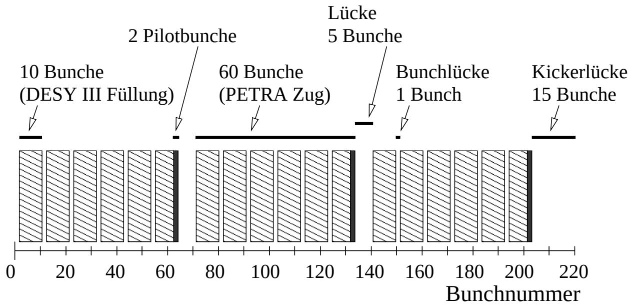


Abbildung 6.1: Das Bunchcrossing-Spektrum des Protonen-Strahls von HERA. Die Protonen-Bunche sind regelmäßig mit diversen Lücken angeordnet. Immer zehn aufeinanderfolgende Bunche sind gefüllt (DESY III-Füllung), gefolgt von einer einen Bunch breiten Lücke. Sechs solcher Pakete (entsprechend einer PETRA-Füllung) sind jeweils von einer fünf Bunch breiten Lücke getrennt. Am Ende eines jeden Zuges befinden sich zwei sogenannte Pilot-Bunche, denen keine Positronen-Bunche als Kollisionspartner zugeordnet sind. HERA ist gefüllt mit drei PETRA-Zügen, auf die eine fünfzehn Bunche breite Kickerlücke folgt, in welcher der Protonen-Strahl sicher aus dem Beschleuniger entfernt werden kann.

Signale der GEM-MSGC-Kammern

Bei jedem Bunchcrossing können am Target Wechselwirkungen (Ereignisse) stattfinden, die zu Teilchenspuren im Detektor führen, man kann also alle 96 ns ein neues Ereignis im Detektor erwarten. Die von den Teilchendurchgängen durch eine GEM-MSGC erzeugten Elektronen und ihre durch die Gasverstärkung an der GEM-Folie und in Anodennähe entstandenen Sekundärelektronen driften zu den Anoden des Wafers. Dort müssen sie in der anschließenden Elektronik integriert und verstärkt werden, um dann als Puls registriert zu werden. Für diese Auslese wurde vom ASIC-Labor in Heidelberg der Helix-Chip entwickelt, von dem immer sechs eine GEM-MSGC-Kammer auslesen. Im Wesentlichen besteht er aus 128 Eingangskanälen mit Vorverstärker und Pulsformer und einer Pipeline für jeden Kanal. Am Ausgang des Pulsformers wird die anliegende Spannung für jedes Bunchcrossing evaluiert und als analoges Signal in einer Pipelinezelle zwischengespeichert. Falls ein Kanal in diesem Bunchcrossing ein Teilchensignal sieht, ist die gespeicherte Ladung proportional zur Ladung auf dem Streifen, sonst gibt die gespeicherte Ladung die Nullinie (Baseline) der Signale wieder. Bei der Integration der Ladungspulse der Anoden ist es wichtig, den Zeitraum einerseits so groß zu halten, daß möglichst viel Ladung aufgesammelt wird, ihn aber andererseits nicht auf das nächste Ereignis auszudehnen, welches 96 ns später stattfinden kann. Die Ausgangspulsform kann über die Parameter des Helix-Chips beeinflußt werden kann. In Abschnitt 6.1.1 wird auf die mögliche Pulsformen eingegangen.

Aus den Daten, die der Helix-Chip liefert, müssen die Signale, die von Teilchendurchgängen erzeugt wurden, vom Rauschen getrennt werden. Zu dieser Treffer-Identifikation dient ein "Clusterfinder". Der für diese Analyse verwendete Clusterfinder wird in Kapitel 6.1.2 vorgestellt.

Der nächste Schritt in der Behandlung der Daten ist die Suche nach Spuren von Teilchendurchgängen durch mehrere Kammern des Inneren Spurkammersystems. Die für diese Analyse verwendeten Kriterien, die eine Spur erfüllen muß, um als solche identifiziert zu werden, sind in Kapitel 6.1.3 beschrieben.

6.1.1 Einstellungen des Helix-Chips

Die aufgesammelte Ladung der Anoden wird im Helix-Chip vorverstärkt und als Puls geformt. Dabei können verschiedene Einstellungen benutzt werden, so daß sich die Ausgangspulsform ändert. Für die in dieser Analyse verwendeten Daten wurden folgende Größen variiert:

Vorverstärker-Bias-Strom I_{pre} Mit I_{pre} wird die Anstiegsgeschwindigkeit der Spannung am Ausgangswiderstand des Vorverstärkers geändert. Je größer der Vorverstärker-Bias-Strom, desto höher ist die Amplitude des Ausgangs-Signals. Trotz hoher kapazitiver Last kann der Puls dennoch schnell wieder abfallen. Allerdings werden nicht nur echte Signale mehr verstärkt, sondern auch das elektronische Rauschen nimmt etwas zu.

	V_{fs} in V	I_{pre} in μA
langsames Shaping	1,5	200
schnelles Shaping	1	400

Tabelle 6.1: Hier sind die verschiedenen Einstellungen der Pulsformer-Bias-Spannungen und des Vorverstärker-Bias-Stroms des Helix-Chips angegeben, die für das Innere Spurkammersystem während der Datennahmen seit Februar 2000 benutzt wurden.

Pulsformer-Bias-Spannung V_{fs} Durch Änderung der Pulsformer-Bias-Spannung wird die Integrationszeit des Pulsformers variiert. Bei hohem V_{fs} fällt der Puls am Ausgang schneller wieder auf die Basis ab, die Integrationszeit wird kürzer. Im Vergleich mit I_{pre} kann mit V_{fs} nur ein relativ kleiner Effekt auf die Amplitude des Signals erreicht werden.

In Abbildung 6.2 ist die gemessene Pulsform eines Helix-Chips bei HERA-*B* für die bei dieser Analyse verwendeten Einstellungen eingetragen ([2], Daten aus dem ASIC-Labor). Die Einstellungen sind in Tabelle 6.1 zusammengefaßt. In der Abbildung ist zu sehen, wie der Puls mit dem schnellen Shaping wegen des höheren I_{pre} schneller ansteigt und abfällt und eine deutlich höhere Amplitude zeigt als der Puls mit dem langsamen Shaping.

Der Vorteil des schnellen Shapings liegt im Wesentlichen darin, daß der Puls schneller wieder auf die Grundlinie abfällt, das heißt, die Wahrscheinlichkeit wird verringert, daß der Puls im nächsten Bunchcrossing noch einmal als tatsächlicher Kammerpuls gezählt wird. Der Nachteil des schnellen Shapings besteht darin, daß bei schnelleren Einstellungen des Helixchips das Rauschen um etwa 20% höher ist [2]. Allerdings werden auch die Kammersignale mehr verstärkt, so daß das Verhältnis von Signal zu Rauschen, das allein für die Effizienz der Hitsuche maßgeblich ist, praktisch unverändert bleibt. Es können auch

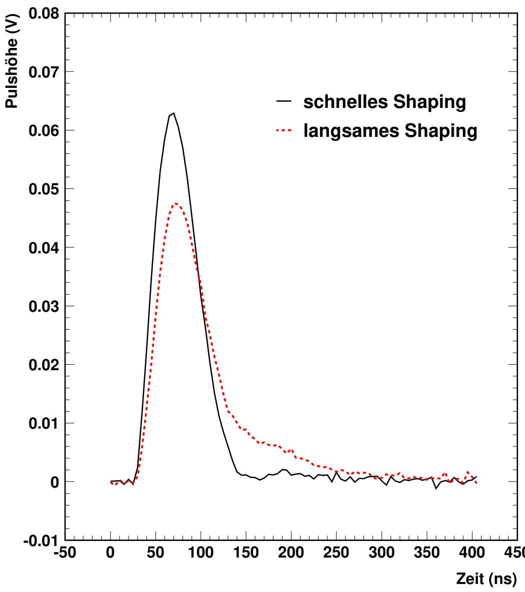


Abbildung 6.2: Die Abbildung zeigt die Pulsform des Ausgangssignals eines Helix-Chips auf einer GEM-MSGC-Kammer für das sogenannte langsame und schnelle Shaping. Die Kurve entspricht der Antwort des Helix-Frontends auf einen Spannungssprung am Eingang.

Einstellungen mit höherem Strom verwendet werden als in der Tabelle angegeben, die Pulsform ändert sich jedoch nicht signifikant, und für die Bedürfnisse des Inneren Spurkammersystems unter HERA-B-Bedingungen zeigt sich, daß das oben genannte schnelle Shaping ausreichend ist. Für die Datennahmen dieser Analyse wurden sowohl das langsame als auch das schnelle Shaping benutzt, so daß ein direkter Vergleich möglich ist.

6.1.2 Clusterfinder

In Abbildung 6.3 im oberen Bild sind die Rohdaten eines Ereignisses dargestellt, wie sie von den Helix-Chips geliefert werden. Man sieht deutlich das sehr unruhige Verhalten der Grundlinie, die zudem nach oben auf 120 ADC-Einträge geschoben ist. Aus diesen Rohdaten müssen die tatsächlichen Signale (Cluster) vom Rauschen und dem unruhigen Untergrund getrennt werden, wobei ein Cluster ein Signal (oder Puls) ist, der auf den Anodenstreifen durch die Elektronen-Lawine hervorgerufen wird, die von dem Durchgang eines ionisierenden Teilchens durch den Detektor erzeugt wird. In den Rohdaten von Abbildung 6.3 sind diese Cluster als Peak nach unten zu sehen. Die Identifikation eines Clusters wird durch einen Clusterfinder erreicht. Der Clusterfinder, der für die vorliegende Analyse verwendet wurde, ist im folgenden beschrieben.

Pedestalbestimmung

Um Variationen in der Verstärkung zwischen den einzelnen Kanälen auszugleichen, werden die ersten 200 der zu bearbeitenden Ereignisse verwendet, von denen für jeden Kanal der Mittelwert gebildet und in den folgenden Ereignissen vom digitalisierten Wert des Kanals subtrahiert wird. Da diese Variationen (Pedestals) baubedingt sind, sollten sie sich im Laufe einer Datennahme nicht ändern, werden aber auch im Verlauf der Bearbeitung der Ereignisse weiter angepaßt [2]. In Abbildung 6.3 im mittleren Bild sind die Rohdaten nach der Pedestal-Subtraktion dargestellt. Die Daten zeigen ein wesentlich ruhigeres Verhalten, die Grundlinie ist aber immer noch etwa 5 ADC-Einträge nach oben verschoben.

In Abbildung 6.4 ist für jeden Kanal das Pedestal dargestellt, welches von den Rohdaten abgezogen wird.

Baselinebestimmung

Durch niederfrequente elektronische Störungen variiert die Signalhöhe bei der Auslese von einem Ereignis zum nächsten teilweise um sehr hohe Werte. Dabei sind alle Kanäle eines Helix-Chips gleichzeitig betroffen. Das Auffinden der Cluster erfordert also eine Bestimmung der Baseline (der Ladung ohne äußeres Signal) für jedes Ereignis, relativ zu der dann die Cluster bestimmt werden können. Dabei werden Kandidaten für Hits für die Baselinebestimmung ausgeschlossen. Für die hier vorgestellte Analyse wurde die Baseline für jeden Chip durch eine lineare Funktion (ADC-Counts gegen Kanalnummer) angepaßt und für jedes Ereignis von den pedestal-korrigierten Rohdaten abgezogen. In Abbildung 6.3 im unteren Bild sind die pedestal- und baseline-korrigierten Daten gezeigt. Nachdem

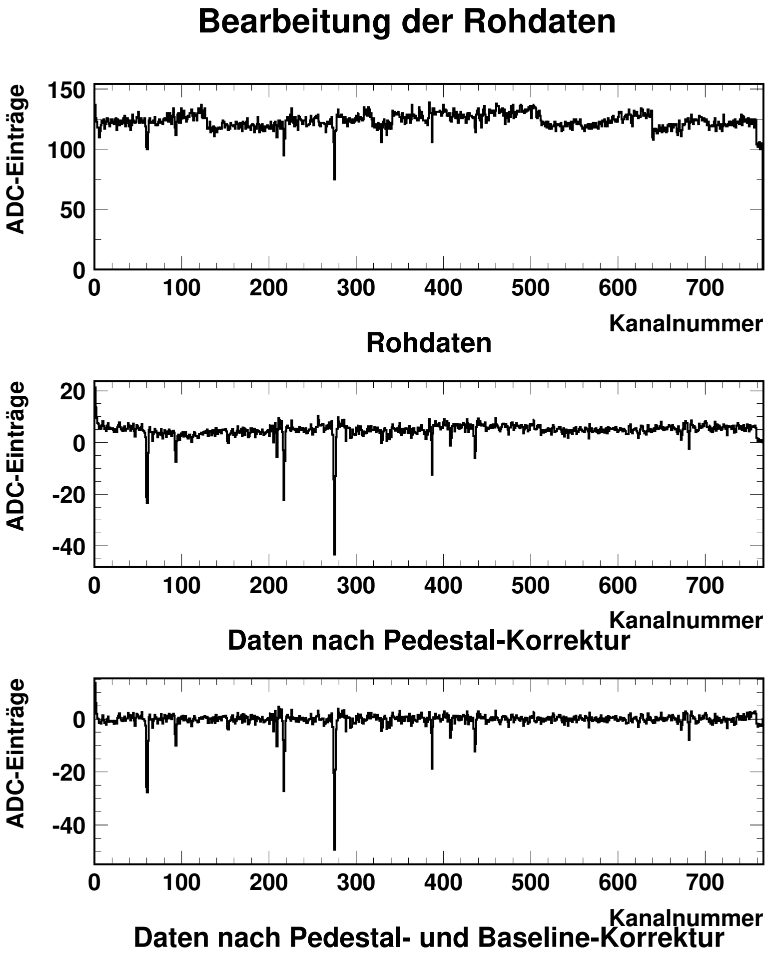


Abbildung 6.3: In der Abbildung ist zu sehen, wie die Rohdaten bearbeitet werden. Im ersten Bild sind die Rohdaten des Ereignisses 228, Run 14462, MS13–+ L2 zu sehen, wie sie aufgezeichnet wurden. Im zweiten Bild wurden die Pedestals abgezogen und im dritten Bild ist auch die Baseline korrigiert.

beide Korrekturen vorgenommen wurden, ist die Grundlinie auf Null gesunken und die Daten zeigen ein ruhiges Verhalten.

Inzwischen hat sich herausgestellt, daß diese lineare Näherung nicht ausreichend ist. In der sich noch in der Testphase befindlichen neuen Version des Clusterfinders wird ein Polynom fünften Grades an die Baseline anpaßt und man erhält bessere Ergebnisse. Außerdem wird eine neue Methode zur Bestimmung der Pedestals vorbereitet. Leider kamen diese Erkenntnisse für die hier vorliegende Analyse zu spät.

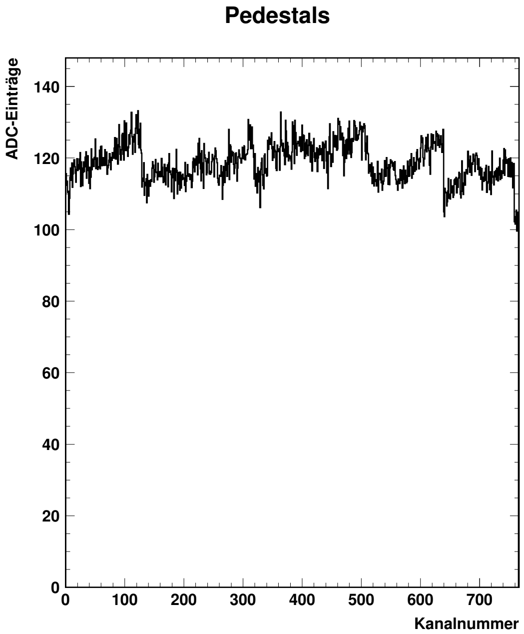


Abbildung 6.4: Die Abbildung zeigt die Pedestals für Kammer MS13–+ L2. Diese Pedestals werden von den Rohdaten abgezogen.

Rauschen

Nach Subtraktion der Baseline und Korrektur der Pedestals sind die verbleibenden Schwankungen der gemessenen Ladungen, die nicht auf die Signale zurückgeführt werden können, durch das Rauschen der Elektronik bedingt. Zur Bestimmung des Rauschens werden die Kanäle, in denen ein Cluster gefunden wurde, für dieses Ereignis herausgenommen. Dann werden für alle Kanäle über jeweils 200 Ereignisse die quadratischen Abweichungen um Null ($\sigma^2_{Rauschen}$) bestimmt, die ein Maß für das Rauschen jedes Chips darstellen. Dieses Rauschen ist nicht für alle Kanäle konstant, sondern es gibt signifikante Unterschiede von Kanal zu Kanal. Außerdem ist das Rauschen von Kanälen, die kurze Anoden-Streifen auslesen, im Mittel kleiner als das von langen Streifen. In Abbildung 6.5 ist für die Lage 2 des Sektors −+ der Station MS13 (MS13–+ L2) für das schon untersuchte Ereignis das Rauschen aufgetragen. Die Wurzel aus der mittleren quadratische Abweichung ($\sigma^2_{Rauschen}$) ist kanalweise in Abbildung 6.5 eingetragen.

Nachdem die Rohdaten auf Pedestal- und Baselinevariationen korrigiert wurden, können Cluster gesucht werden. Die Aufgabe der Clusterfindung ist es, möglichst alle Cluster zu finden, die von Teilchen stammen, und dabei Rausch-Pulse zu unterdrücken. Da die Streifenmultiplizität für Signale im Zählgas Ar:CO_2 relativ hoch ist (größer als 2), heißt das, daß die Ladung auf mehrere Streifen verteilt ist. Der Algorithmus trennt daher Rauschen von Signalen durch einen Schnitt in der integrierten Clusterladung relativ zum mittleren Rauschen der involvierten Kanäle. Das bedeutet, es wird ein Schnitt auf das Verhältnis von Signal zu Rauschen für die Cluster angelegt. Dabei wird davon Gebrauch gemacht, daß Rauschpulse im Allgemeinen nur in einem Kanal sichtbar sind. Der Clusterfinder geht bei der Suche auf die folgende Weise vor:

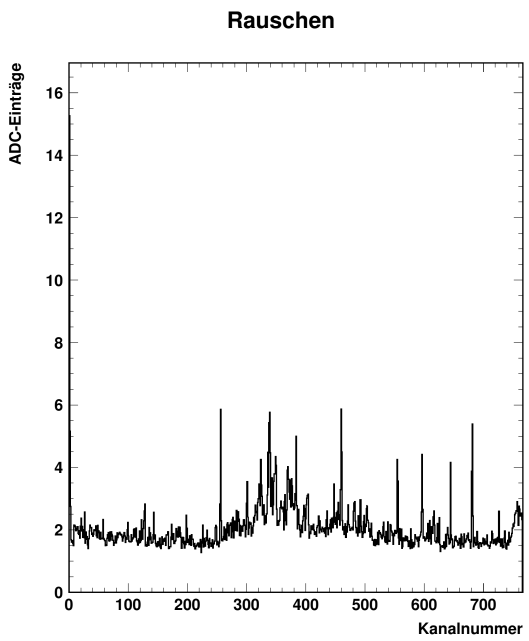


Abbildung 6.5: Die Abbildung zeigt das Rauschen für Kammer MS13–+ L2, für das Ereignis 228. Für jeden Kanal wird das Rauschen bestimmt. Das Rauschen schwankt recht stark von Kanal zu Kanal [11].

Erster Schnitt auf die Rohdaten

Das mittlere Rauschen wird für jeden Kanal bestimmt und dann überprüft, ob das Signal des Kanals um ein bestimmtes Vielfaches ("Seedcut") größer ist als das mittlere Rauschen (σ_i). In Abbildung 6.6 ist dies für die Kanäle 19 bis 80 des vorher schon betrachteten Ereignisses dargestellt. Dabei entspricht das unterlegte Fenster dem Schnitt auf das zweifache von σ_i. Alle Kanäle, deren Signal innerhalb des Fensters liegt, werden für die weitere Clustersuche aussortiert. Im Beispiel werden nur die Kanäle 59, 60 und 61 weiter betrachtet. Alle Kanäle, deren Signal über den Grenzwert reicht, sind entweder ein "Keim" für einen neuen Cluster, oder werden an einen direkt angrenzenden Cluster-Kandidaten angehängt. Dabei wird der Parameter Seedcut so niedrig gewählt, daß möglichst wenig echte Signale verloren gehen und daß die Auswahl der Hits auf jeden Fall durch den im Folgenden beschriebenen Schnitt auf die Clusterladung und nicht auf die Streifenladung erfolgt. Dadurch sind nach dem ersten Schritt auch noch viele Rauschpulse vorhanden. In Abbildung 6.7 auf der linken Seite ist das Verhältnis von Signal zu Rauschen für eine Kammer nach dem Seedcut dargestellt.

Zweiter Schnitt: Optimale Unterdrückung von Rauschpulsen

Im zweiten Schritt wird die integrierte Ladung der Clusterkandidaten bestimmt und das Verhältnis von Signal zu Rauschen gebildet. Wenn dieses Verhältnis für den Kandidaten größer ist als der Schwellwert S/N-cut (Signal-to-Noise-cut), so wird der Cluster als solcher akzeptiert. Der Parameter S/N-cut soll so gewählt sein, daß möglichst wenige Rauschpulse fälschlicherweise als Cluster identifiziert werden. Andererseits sollen aber auch kleinere

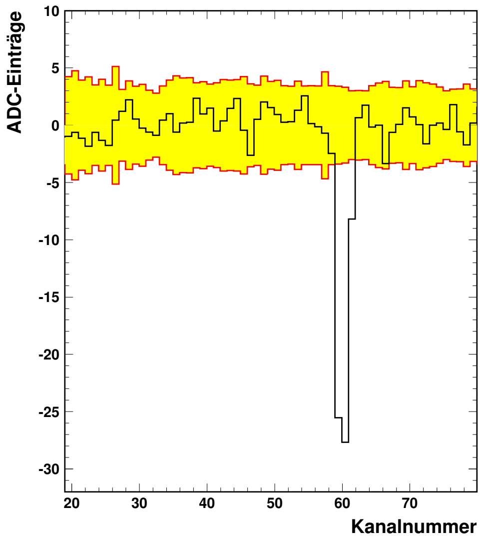
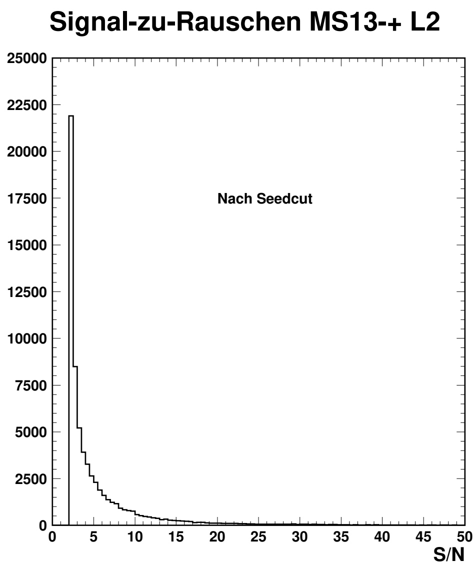


Abbildung 6.6: Ein Fenster mit dem jeweils doppelten Wert des Rauschens für jeden Kanal wird um die korrigierten Daten gelegt. Alle Kanäle, deren Signal über diesem Schwellwert liegen (hier Kanäle 59, 60 und 61) kommen als Clusterkandidaten in Frage.



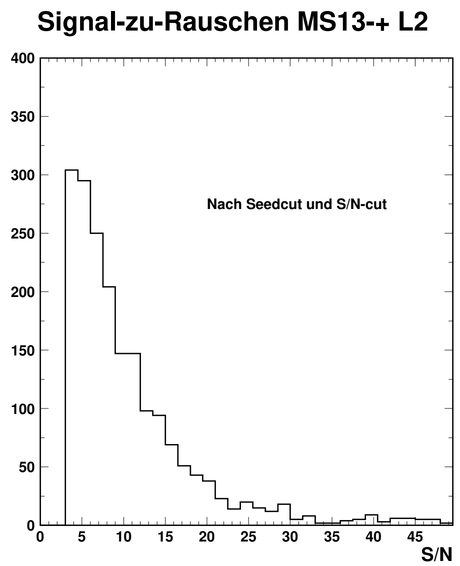


Abbildung 6.7: Das Verhältnis Signal zu Rauschen vor und nach dem S/N-cut. Die Skalen auf der y-Achse sind unterschiedlich gewählt. Durch die Rauschpulse, die noch nicht unterdrückt worden sind, erhält man im linken Bild, welches das Signal-zu-Rausch-Verhältnis nach dem Seedcut zeigt, sehr viele Einträge zu kleinen Werten hin.

Cluster nicht abgeschnitten werden.

In Abbildung 6.7 ist das Verhältnis von Signal zu Rauschen einer Kammer nach dem Seedcut (links) und nach dem Schnitt auf das Signal-zu-Rausch-Verhältnis (rechts) gezeigt. Das Verhältnis variiert von Kanal zu Kanal, deshalb ist die Verteilung im rechten Bild, bei dem zusätzlich der S/N-cut angewendet wurde, anders.

Durch Veränderung der beiden Parameter kann die Cluster-Suche optimiert werden. Im Rahmen dieser Analyse wurden verschiedene Einstellungen betrachtet. Darauf wird in Kapitel 6.2 eingegangen.

Nach dieser Behandlung der Rohdaten erhält man für jede Kammer eine Verteilung der in ihr aufgetretenen Cluster, die durch folgende Größen beschrieben werden können. Dazu wird auf Abbildung 6.8 verwiesen, die denselben Cluster wie im vorherigen Bild zeigt.

Clusterladung oder Pulshöhenspektrum Die Clusterladung gibt die gesamte Ladung eines Clusters von der Baseline aus an. In der Abbildung 6.8 ist das die Ladung der Kanäle 59, 60 und 61, die schwarz eingezeichnet sind. Da die Pulshöhe des Signals eines Kanals von den Einstellungen des Helix-Chip abhängt, ist auch die Clusterladung eine Funktion davon. Die Clusterladung ist außerdem im Mittel proportional zum Energieverlust des MIPs im Zählgas der MSGCs. Damit erwartet man für die Verteilung des Pulshöhenspektrums eine Landauverteilung, die den Energieverlust minimal ionisierender Teilchen in dünnen Absorbern und Gasen beschreibt, wo starke Fluktuationen um den Mittelwert auftreten. Eine Landau-Funktion ist in Abbildung 6.9 gezeigt. Die Clusterladung ist typischerweise in ADC-Einträgen angegeben, ei-

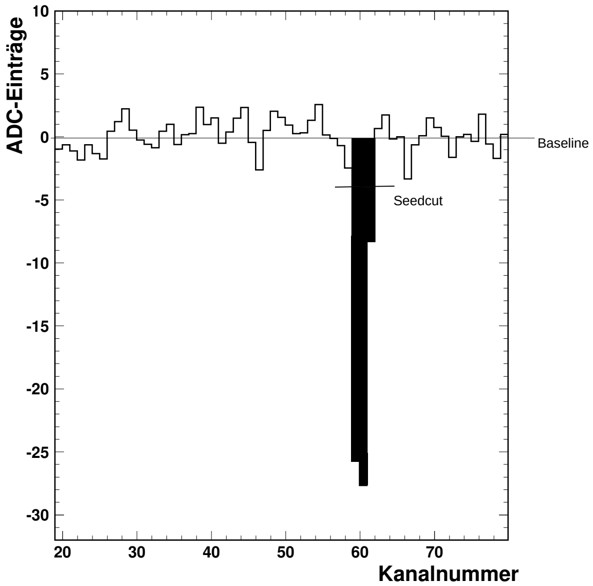


Abbildung 6.8: Der schwarz eingezeichnete Cluster wurde nach dem ersten Schnitt, dem Seedcut, als Kandidat ausgewählt. Er hat eine Breite von drei Streifen, über welche die gesamte Ladung integriert wird.

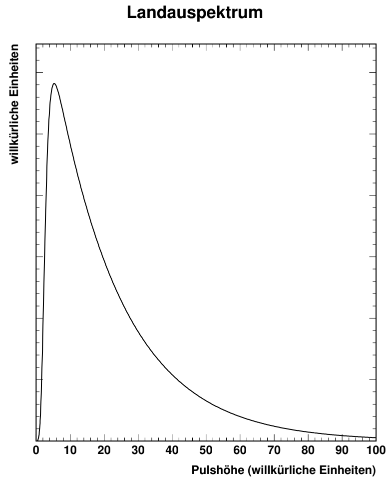


Abbildung 6.9: Darstellung eines Landauspektrums in beliebigen Einheiten. Die Landauverteilung beschreibt den Energieverlust eines MIPs in dünnen Absorbern und Gasen. Die Verteilung ist asymmetrisch, das heißt man erhält auch bei sehr hohen Pulshöhen noch Einträge. Der wahrscheinlichste Energieverlust ist deutlich geringer als der mittlere Energieverlust.

ner Einheit, die vom Shaping abhängt und für das langsame Shaping ungefähr 2500 Elektronen entspricht.

Clusterbreite oder Streifenmultiplizität Die Clusterbreite gibt die Anzahl der Anodenstreifen an, die einem gemeinsamen Cluster zugeordnet wurden. Bei dem in Abbildung 6.8 gezeigten Cluster beträgt die Streifenmultiplizität 3. Die Clusterbreite ist sowohl abhängig vom Winkel, in dem das MIP die Kammer durchquert, als auch vom angelegten Magnetfeld, das wegen der Lorenzkraft die Elektronenwolke verschmiert. Aber auch die Elektronenwolke eines Teilchens, das die Kammer senkrecht durchquert, wird aufgrund von Diffusion auf über 2 Anodenstreifen im Zählgas Ar:CO_2 ausgedehnt. In dieser Analyse wurden nur Daten aus einer Station ausgewertet, die nicht im Magnetfeld steht.

Signal-zu-Rausch-Verhältnis Das Verhältnis des Signals eines Clusters zum Rauschen der betroffenen Streifen wird auf die folgende Weise bestimmt:

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

wobei q_i die Ladung eines Anodenstreifens (das Signal) und σ_i^2 dessen Rauschen, also die mittlere quadratische Abweichung ohne des Beitrags der Pulse ist. Dabei wird über alle Kanäle summiert, die zu dem Cluster beigetragen haben. Da in das Verhältnis von Signal zu Rauschen die Pulshöhe mit eingeht, sollte auch dieses Verhältnis durch ein Landau-Spektrum beschrieben werden können.

Occupancy (Wiremap) In dem Histogramm der Wiremap ist die Anzahl der detektierten Teilchendurchgänge für jeden Kanal dargestellt. Dabei ist der Schwerpunkt der Ladung eines Clusters angegeben. Dieser liegt nicht unbedingt auf einem Anodenstreifen, da sich eine Elektronenwolke der MIPs meist auf mehrere der Streifen verteilt. Durch die Bestimmung des Schwerpunktes eines Clusters kann eine bessere Auflösung als der Pitch (300μm) erreicht werden.

Die Occupancy ergibt sich aus dem Prozentsatz der Streifen, die im Mittel pro Bunchcrossing ein Signal zeigen. Sie wird berechnet, in dem die Wiremap durch die Anzahl der Ereignisse dividiert wird. Bei den GEM-MSGC-Kammern des Inneren Spurkammersystems erwartet man eine Occupancy in der Form, wie sie in Abbildung 6.10 zu sehen ist, die sich aus der abnehmenden Teilchendichte in radialer Richtung und aus den kürzeren Anodenstreifen in der Nähe des Strahlrohrs ergibt.

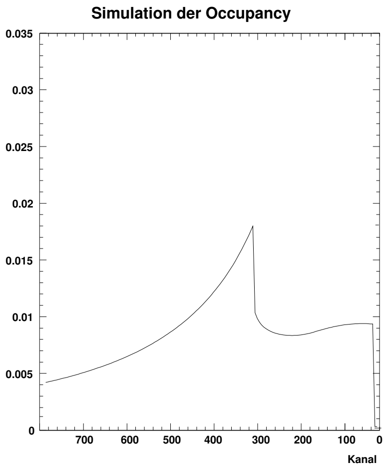


Abbildung 6.10: Die Simulation einer Occupancy für die Geometrie einer MSGC. Die asymmetrische Form ergibt sich aus der Tatsache, daß einerseits die Streifenlänge der Anoden in der Nähe des Strahlrohrs kleiner wird und andererseits die Teilchendichte mit $\frac{1}{r^2}$ nach außen hin abnimmt. Bei der vorliegenden Simulation befindet sich das Strahlrohr rechts [17].

Für eine Targetrate von 10 MHz sollte für die GEM-MSGCs aufgrund der kleinen Fläche pro Kanal (niedrigen Granularität) die Occupancy nicht mehr als 1% betragen.

Nicht alle der gefundenen Cluster stammen wirklich von dem Durchgang eines MIPs durch die GEM-MSGC. Zum einen werden teilweise noch Rauschpulse aufgesammelt, zum anderen werden auch "weiche" Spuren und Hits, die von einzelnen Photonen oder eventuell Neutronen erzeugt werden, registriert. "Weiche" Spuren stammen von Teilchen mit niedriger Energie, die zum Beispiel am toten Material des HERA-B-Detektors aufschauern. Diese Teilchen sind keine MIPs. Durch solche Effekte wird auch das erwartete Landauspektrum verzerrt, wenn alle Hits in einer Kammer für die Bestimmung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses verwendet werden.

6.1.3 Spurfindungsalgorithmus

Als nächsten Schritt der Datenverarbeitung werden Teilchen-Spuren gesucht, die durch mehrere Kammern verfolgt werden können und deren Eigenschaften typischerweise Teilchen entsprechen, die aus der Targetregion stammen. Erst dann kann man sicher sein, daß die gefundenen Cluster, die auf dieser Spur liegen, überwiegend von MIPs erzeugt wurden. Für diese Analyse wurde ein Spurfinder benutzt, dessen Eigenschaften im folgenden beschrieben werden. Da die untersuchten Daten alle von der Station MS13 stammen, die in der PC-Region zu finden ist, soll dies am Beispiel dieser Station geschehen (zur Anordnung der Stationen entlang des Strahlrohres siehe Abbildung 3.5). Die einzelnen Lagen sind in der Station MS13 räumlich so angeordnet, wie in Abbildung 6.11 zu sehen ist. Für die Spurfindung werden nur Spuren berücksichtigt, die durch denselben Sektor einer Station gehen, wobei eine Station immer vier solcher Sektoren hat. Die Sektoren sind so aufgeteilt, wie in Abbildung 6.12 dargestellt ist.

Der verwendete Spurfinder sucht mögliche Spuren aus den gegebenen Clustern durch eine kombinatorische Suche aller Möglichkeiten. Die erste Bedingung an die Spur ist folgende:

Ein Treffer (Hit), der in einer der ersten beiden 0°-Lagen eines Sektors aufgetreten ist, wird mit allen Hits der hinteren beiden 0°-Lagen verbunden. Dann werden solche Kandidaten aussortiert, deren Winkel zum Strahlrohr in X-Richtung größer als ca. 8° ist. Damit werden Teilchen aussortiert, die eine zu schräge Spur im Detektor hinterlassen. Die Spurkandidaten, die übrigbleiben, werden durch die anderen Lagen des Sektors verfolgt. Pro Spur muß in mindestens drei 0°-Lagen und drei 5°-Lagen ein Hit gefunden worden sein. Eine Spur läßt sich also durch mindestens sechs Hits beschreiben. Durch die Information der Stereolagen können nun auch solche Spuren aussortiert werden, deren Winkel zum Strahlrohr in Y-Richtung größer als ca. 8° ist. Falls mehrere Spuren durch die gleichen Anfangs-Hits gelegt werden können, wird die mit der kleinsten mittleren Abweichung der Spurkoordinaten zu den Hits gewählt.

Nicht alle der gefundenen Hits können einer Spur zugeordnet werden. Um möglichst wenige Rauschpulse oder "weiche" Pulse in die allgemeinen Betrachtungen mit einzubeziehen, werden die Größen wie Clusterladung, Clusterbreite und Signal-zu-Rausch-Verhältnis nur für solche Hits gebildet, die auf einer Spur liegen.

Da der Spurfindungs-Algorithmus alle kombinatorischen Möglichkeiten ausprobiert und erst dann Kandidaten verwirft, braucht das Analyse-Programm sehr lange, um Daten zu verarbeiten (für 1000 Ereignisse werden ca. zwei bis drei Stunden benötigt). Es ist vorgesehen, die Analyse der Daten des Inneren Spurkammersystems sobald wie möglich in der allgemeinen HERA-B-Umgebung mit dem sich zur Zeit noch in der Testphase befind-

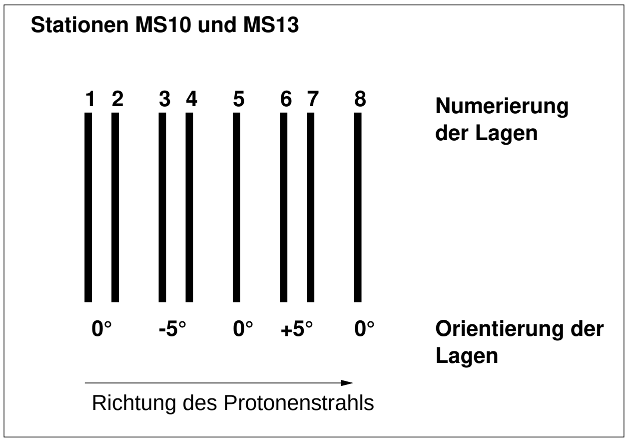


Abbildung 6.11: Die Anordnung der 0°- und ±5°-Lagen in den Stationen MS10 und MS13, die gleich aufgebaut sind. Die Lagen sind in Richtung des Protonen-Strahls durchnumeriert.

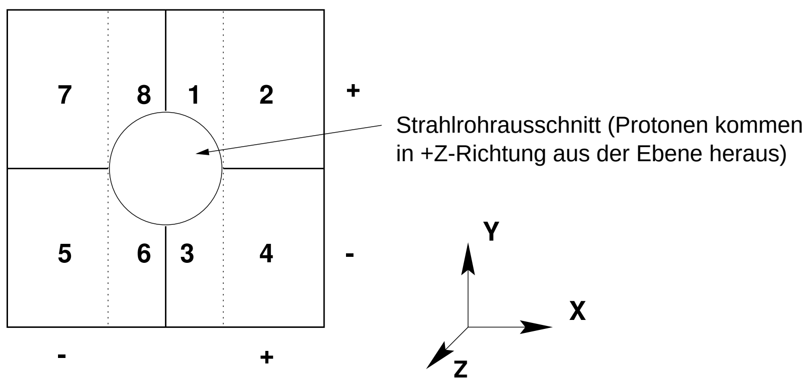


Abbildung 6.12: Eine Ebene senkrecht zum Strahlrohr (Lage) ist aus vier Kammern aufgebaut und daher auch softwareseitig in vier Sektoren unterteilt, entsprechend der Orientierung eines Koordinatensystems, dessen X/Y-Ebene senkrecht zum Strahlrohr liegt. Die Sektoren werden durch das Vorzeichen ihrer X/Y-Position, wie sie in der Zeichnung markiert sind, identifiziert. Ein Sektor ist wieder unterteilt in 2 Bereiche. In den Bereichen 2,4,5 und 7 haben die Anodendrähte die maximale Länge, während sie aufgrund des Strahlrohrausschnitts in den Bereichen 1,3,6 und 8 kürzer sind. Für die Rekonstruktion der Hitpositionen ist diese Unterscheidung intern wichtig.

lichen Programm “RANGER” durchzuführen. RANGER ist ein Software-Programm zur schnellen Mustererkennung und Spurfindung und soll die gesamte Spurinformation eines Ereignisses innerhalb weniger Sekunden rekonstruieren [28].

6.2 Analyse der Daten mit unterschiedlichen Parametern

Aufgrund der zu häufig aufgetretenen Überschläge zwischen GEM-Folie und Kathodenebene mußten die Feldstärken für Drift- und Transferfeld verringert werden. Dadurch erreicht man eine deutlich erhöhte Betriebssicherheit, da die Spark-Wahrscheinlichkeit abnimmt. Es stellt sich aber die Frage nach der Wirkung dieser Reduktion der Felder auf die Kammersignale. Im Rahmen dieser Analyse soll der optimale Betriebspunkt der GEM-MSGC-Kammern unter der Voraussetzung der neuen Feldkonfigurationen bestimmt werden. Es ist sehr wichtig, daß trotz der verringerten Felder die Kammersignale nicht schlechter werden. Um dies zu erreichen, können verschiedene Parameter geändert werden. Diese sollen im folgenden vorgestellt werden.

Die vorliegende Analyse stellt eine Vorstufe zur Bestimmung von Effizienzen der Kammern dar. Um aussagekräftige Effizienzen bestimmen zu können, müssen Spuren durch mehrere Stationen gleichzeitig verfolgt werden können, und die Spurfindung muß zuverlässig solche Spuren aussortieren, die nicht von MIPs stammen. Derzeit liegt noch keine sichere und schnelle Methode zur Bestimmung der Effizienzen vor. Deshalb sollen leicht zugängliche Größen gefunden werden, anhand derer möglichst schnell eine Aussage über das Verhalten der Kammern gewonnen werden kann.

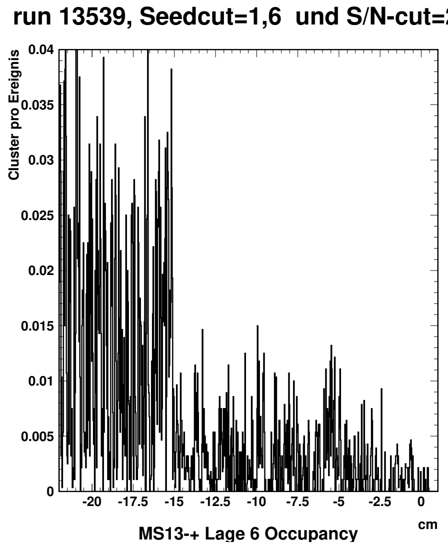
Die Daten zu dieser Analyse wurden mit dem HERA-*B*-Programmpaket ARTE [1] und dem im vorigen Kapitel beschriebenen Clusterfinder sowie dem dort erläuterten Spurfindungsalgorithmus bearbeitet.

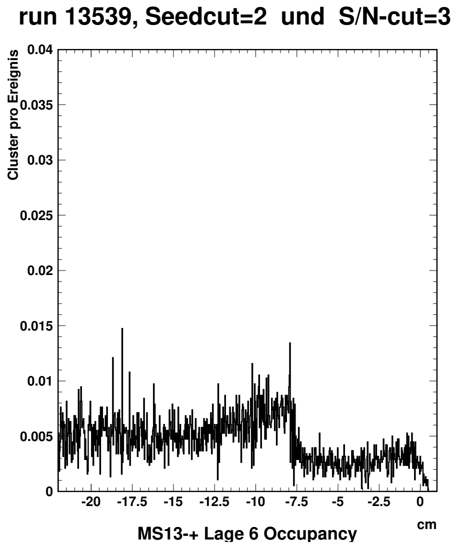
Bevor man sich der Analyse von Daten mit verschiedenen Hochspannungs-Werten und Helix-Chip-Einstellungen widmen kann, müssen die Parameter, die im Clusterfinder verwendet werden, möglichst optimal eingestellt sein. Damit ist gewährleistet, daß aus den Rohdaten nicht zuviele Signale weggeschnitten, beziehungsweise daß die Signale nicht vom Rauschen dominiert werden. Dazu werden die Daten aus derselben Datennahme (Run) mit unterschiedlichen Parametern für die Clustersuche untersucht.

Parameter des Clusterfinders

Um die Parameter des Clusterfinders, den Seedcut und den S/N-cut, zu bestimmen, sind Occupancy-Histogramme besonders geeignet. Damit kann schnell ein Eindruck darüber gewonnen werden, wie sich die Daten einer Kammer verhalten. In Abbildung 6.13 sind als Beispiel die Occupancies für drei unterschiedliche Einstellungen zu sehen. Für die niedrigsten Einstellungen mit Seedcut=1,6 und S/N-cut=2 läßt sich deutlich erkennen, daß sie ungeeignet sind, denn die Occupancy ist vom Rauschen dominiert. Offensichtlich werden die Rauschpulse nicht unterdrückt. Außerdem zeigt sich der Clusterfinder sehr ineffizient und erhöht künstlich einige Bereiche. Dies ist kein Effekt, der sich auf die Kammersignale oder die anschließende Elektronik zurückführen läßt, sondern auf die nachträgliche softwareseitige Bearbeitung. Die Einstellungen mit Seedcut=2 und S/N-cut=3 beziehungsweise Seedcut=3 und S/N-cut=4 zeigen beide die erwartete Form einer Occupancy. Für die hohen Einstellungen ist das Verhalten der Kurve etwas ruhiger, aber die Kurve ist auch insgesamt nach unten verschoben. Daraus sieht man, daß ein Teil der relevanten Signale abgeschnitten wird, weil sie zu niedrige Pulshöhen haben. Das leicht erhöhte Rauschen der mittleren Verteilung im linken Teil der Occupancy stellt deshalb kein Problem dar, weil diese Hits von Kammer zu Kammer unkorreliert sind und in den Verteilungen, die auf Spuren gebildet werden, keinen Beitrag mehr leisten. Insgesamt kann mit der mittleren Einstellung also an Effizienz gewonnen werden.

Die Einstellungen Seedcut=2 und S/N-cut=3, mit denen man eine bis zu 40% höhere Zahl an Treffern findet als mit den höheren Einstellungen, wurden für diese Analyse gewählt.





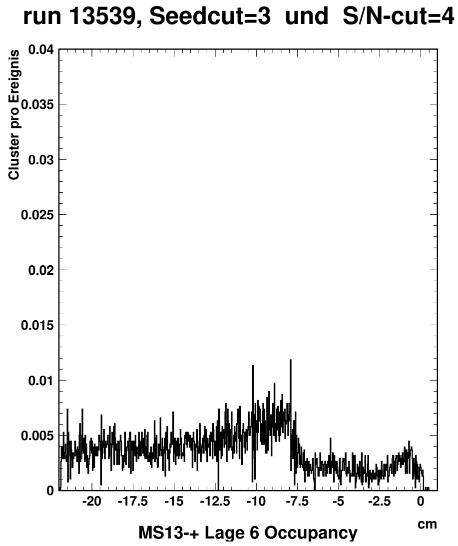


Abbildung 6.13: Die verschiedenen Occupancies für dieselbe Kammer, den gleichen Run und die gleichen Ereignisse, aber verschiedene Werte von Seedcut und S/N-cut. Es ist zu sehen, daß die Werte des ersten Diagramms (Seedcut=1,6 und S/N-cut=2) zu klein sind, denn die Occupancy ist vom Rauschen dominiert. Der Clusterfinder ist hier sehr ineffizient und manche Bereiche werden künstlich erhöht. Bei den Diagrammen für Seedcut=2 und S/N-cut=3 bzw. Seedcut=3 und S/N-cut=4 ist zu sehen, daß sich die Form der Occupancy-Kurve nicht mehr sehr ändert, die Kurve hat sich jedoch für die höheren Einstellungen nach unten verschoben. Einstellungen des Runs: U_{drift} =–3200 V, U_{kath} =–490 V, U_{GEM} =410 V, langsames Shaping.

Typische Histogramme der Clustergrößen

Nachdem geeignete Einstellungen für die Parameter in der Software gefunden wurden, ist es sinnvoll, sich die typischen Größen der Cluster genauer anzuschauen. In Abbildung 6.14 sind Occupancy, Clusterladung, Clusterbreite und das Signal-zu-Rausch-Verhältnis für den Run 14461, der im März 2000 mit den folgenden Einstellungen aufgenommen wurde, zu sehen.

- $U_{\mathrm{drift}} = -2400$ V
- $U_{\mathrm{kath}} = -490$ V
- $U_{\mathrm{GEM}} = 415$ V
- langsames Shaping

Diese Histogramme wurden aus 4000 Ereignissen gebildet. Für die Occupancy ergibt sich wieder die erwartete Form.

In der Clusterladung und im Verhältnis von Signal zu Rauschen ist keine Landau-Verteilung zu sehen, die man eigentlich erwarten würde. Das ist ein deutliches Indiz dafür, daß die Parameter für die Hochspannungen noch nicht optimal gewählt worden sind und die Kammern nicht in einem effizienten Bereich arbeiten. Die Verteilung für die Clusterladung ist nicht scharf bei einem kleinsten Wert abgeschnitten, da der Seedcut wegen des unterschiedlichen Mittelwerts jedes Kanals für das Rauschen variiert.

Hier kann erwartet werden, daß die Verteilungen mit der neuen Bestimmung der Baseline, der Pedestals und des Rauschens besser aussehen beziehungsweise daß ansatzweise ein Landauspektrum gesehen werden kann.

6.2.1 Vergleich verschiedener Driftfelder

Nach Messungen zur Gasverstärkung einer GEM-MSGC bei verschiedenen Hochspannungswerten für die Kammer [51] wurde erwartet, daß bei kleineren Driftfeldstärken die Pulshöhe, also die Clusterladung, anwächst. Eine Erklärung dafür ist, daß die Transparenz der GEM-Folie bei der niedrigeren Feldkonfiguration zunimmt, so daß man trotz kleinerem Drift- und Transferfeld, die zu einer niedrigeren Gasverstärkung führen sollten, eine höhere Pulshöhe erreicht. Um dies bei den Kammern des Inneren Spurkammersystems nachzuweisen, wurden zwei unterschiedliche Sätze von Runs genommen, mit jeweils den alten und den neuen Einstellungen für die Hochspannung. In der vorliegenden Analyse wurde der Sektor −X/+Y (Bereich 7 und 8) der Station MS13 untersucht. In Tabelle 6.2 sind die Einstellungen der beiden Runs zusammengefaßt. Beide Runs wurden bei 10 MHz Targetrate aufgenommen, und es wurden jeweils 4000 Ereignisse untersucht.

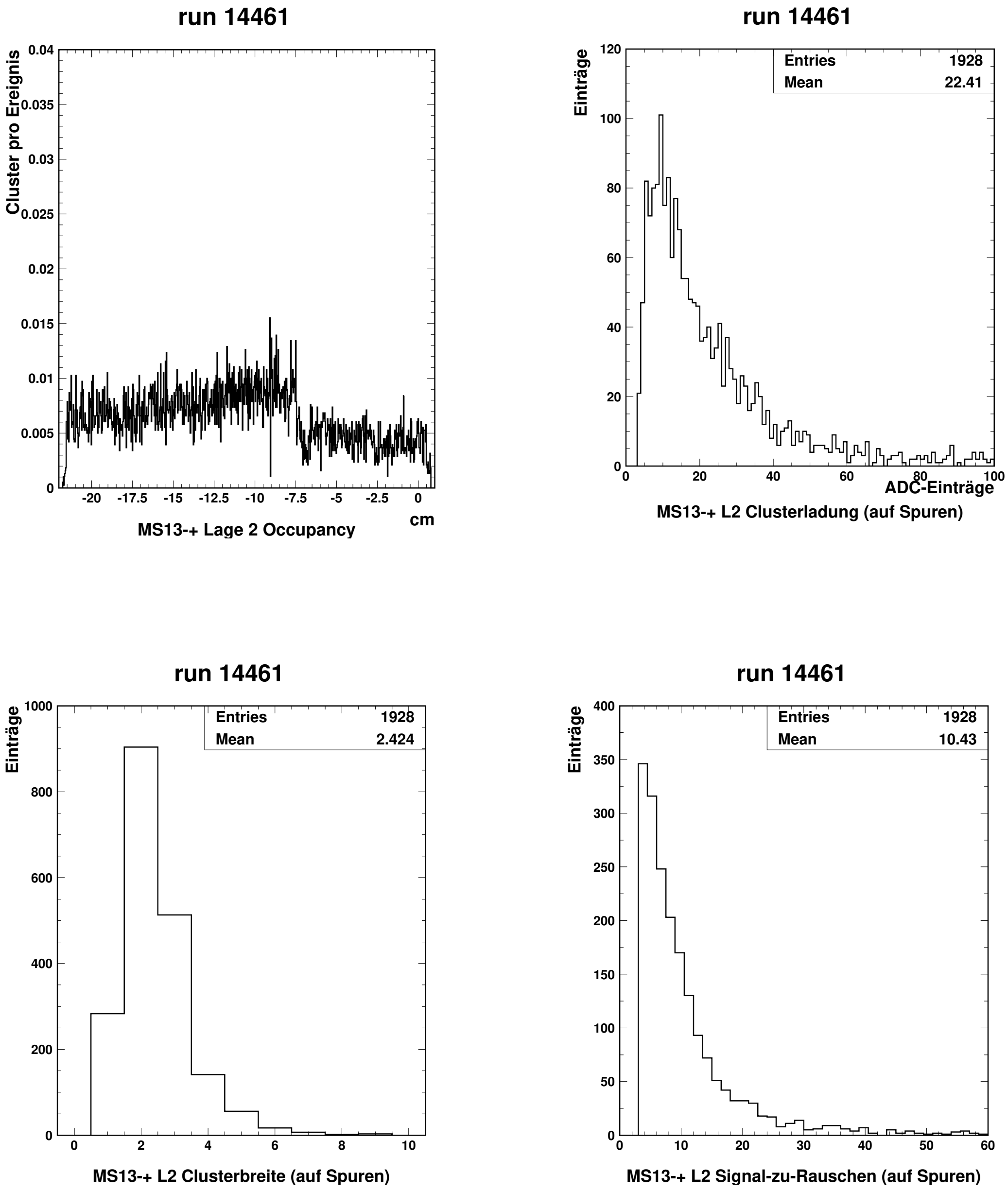


Abbildung 6.14: Hier sind für die Lage 2 die wichtigen Histogramme eines Runs dargestellt. Links oben ist die Occupancy zu sehen. Sie zeigt die typische Form. In der Verteilung der Clusterladung im Bild rechts oben ist das erwartete Landauspektrum nicht zu sehen. Der Anstieg in der Verteilung stammt von dem angewendeten S/N-cut der von Streifen zu Streifen variiert, da auch das Rauschen von Streifen zu Streifen verschieden ist. Die Clusterbreite ist links unten zu sehen. Man erhält einen Mittelwert von 2,4 Anodenstreifen, über die sich die Elektronenwolke eines primären Teilchens verteilt. Auch für das Verhältnis von Signal zu Rauschen ist das erwünschte Landau-Spektrum nicht zu erkennen. Einstellungen: $U_{\mathrm{drift}} = -2400$ V, $U_{\mathrm{kath}} = -490$ V, $U_{\mathrm{GEM}} = 415$ V, langsames Shaping.

	Run 13539	Run 14460
U_{drift} in V	–3200V	–2400V
U_{kath} in V	–490V	–490V
U_{GEM} in V	410V	410V
Shaping	langsam	langsam

Tabelle 6.2: Benutzte Hochspannungs-Einstellungen zur Untersuchung verschiedener Driftspannungen. Beide Runs wurden bei 10 MHz Targetrate aufgenommen, und es wurden für die Analyse 4000 Ereignisse bearbeitet.

Einträge auf Spuren

In Abbildung 6.15 sind die Mittelwerte der Anzahl der gefundenen Hits auf Spuren für jede Lage dargestellt. Dabei sind auf der x-Achse die acht Lagen der Station MS13–+ aufgetragen.

Der niedrige Wert für die Lage 4 des Runs mit U_{drift} =–2400 V erklärt sich dadurch, daß sich die Daten dieser Kammer zwischen den beiden Runs aus einem bisher noch nicht verstandenen Grund verschlechtert haben. Diese Lage zeigt für beide Runs, einige auffällige Helix-Chips, an deren Grenzen fälschlicherweise immer ein Eintrag entstanden ist. Dieses Verhalten hat sich noch verschlechtert im Vergleich beider Runs, wobei der erste (U_{drift}

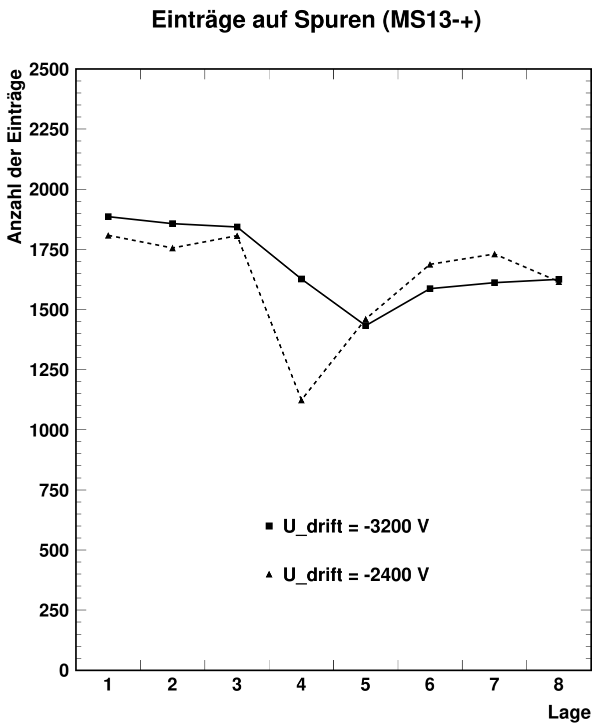


Abbildung 6.15: Diagramm der Mittelwerte der gefundenen Hits für alle Lagen der Station MS13–+. Trotz niedrigerer Driftelektroden-Spannung erhält man ungefähr gleich viele Einträge pro Lage. Festgehaltene Größen: U_{kath} = -490 V, U_{GEM} = 410 V, langsames Shaping.

=–3200 V) am 23. Februar 2000 aufgenommen wurde, und der zweite Run (U_{drift} =–2400 V)am 8. April aufgenommen. Wahrscheinlich kann diese Verschlechterung der Occupancy durch eine Fehlfunktion in der Elektronik, die durch die softwareseitige Bearbeitung der Daten noch verstärkt wird, erklärt werden und wird mit der neuen Datenbehandlung größtenteils wegfallen.

Für die Anzahl der gefundenen Spuren durch den Sektor MS13–+ normiert auf die Anzahl der Ereignisse ergibt sich:

	Run 13539	Run 14460
Spuren pro Ereignis	0,51	0,50

Dabei zeigt sich, daß man im Mittel mit der neuen Einstellung für die Driftelektroden-Spannung kaum weniger Spuren erhält (98% der Spuren bei höherer Spannung), und nicht signifikant an Einträgen verliert. Bis auf den niedrigen Wert der Lage 4 ist die tendenziell gleiche Form der Kurven deutlich zu erkennen. Dies wird auch erwartet, da sich die Kammern in ihren Eigenschaften wie Gasverstärkung und Lage nicht ändern. Leichte Fluktuationen zwischen zwei Runs sind eventuell durch eine Änderung des Wassergehalts, des Zählgases oder des Außendrucks zu erklären. Außerdem haben signifikante Änderungen in der Anzahl der Einträge einer Lage auch Einfluß auf den Wert aller anderen Lagen, da sich die Gesamtzahl der Spuren ändern wird und damit auch die Einträge auf Spuren.

Clusterladungen

Für die Clusterladung aller Hits auf Spuren sind die Mittelwerte in Abbildung 6.16 aufgeschlüsselt nach Lagen der MS13–+ aufgetragen. Lage 1, 5 und 6 zeigen dabei für beide Runs eine deutlich niedrigere Clusterladung. Diese Eigenschaft ist bei allen Datennahmen zu beobachten und ändert sich nicht stark. Die betroffenen Kammern zeigen offensichtlich eine niedrigere Gasverstärkung als die anderen.

Exemplarisch werden in Abbildung 6.17 für diese beiden Runs die Driftströme gezeigt. Dabei zeigt sich, daß für den Run mit der höheren Driftelektroden-Spannung auch höhere Driftströme fließen. Der Driftstrom zusammen mit dem Kathodenstrom ist ein direktes Maß für die durch die Kammer auf die Anoden transportierten Ladungen. Da die Clusterladung, wie in Abbildung 6.16 zu sehen ist, abnimmt, ist eine Verringerung des Driftstromes zu erwarten. Die Kammern mit auffällig niedrigerer Clusterladung zeigen einen kleineren Strom, als die anderen Kammern.

Im Vergleich der verschiedenen Driftelektroden-Spannungen erhält man im Mittel eine etwa 20% geringere Clusterladung bei einem ca. 35% geringeren Driftstrom für die niedrigere Spannung. Diese Zahlen sind ein Hinweis darauf, daß ein größerer Teil der Verstärkung an der Kathode stattfindet. Durch eine reine Verringerung der Feldstärken kann also keine Erhöhung der Clusterladungen erreicht werden.

Auch hier erhält man tendenziell die gleiche Kurvenform für beide Einstellungen. Die Clusterladung beschreibt also ebenfalls die Eigenschaften einer Kammer.

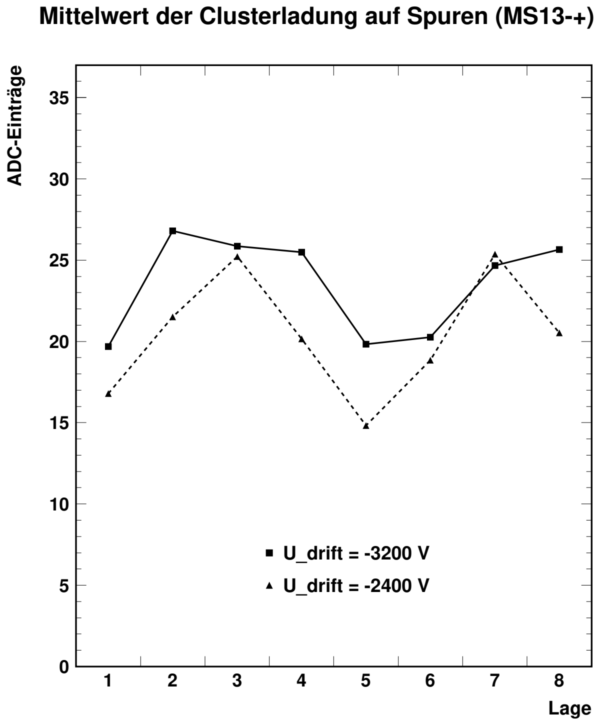


Abbildung 6.16: Diagramm der Mittelwerte der Clusterladungen aller Einträge auf Spuren für die Station MS13–+. Die Clusterladung sinkt um etwa 20% für die niedrigere Driftelektroden-Spannung. Festgehaltene Größen: U_{kath} = -490 V, U_{GEM} = 410 V, langsames Shaping.

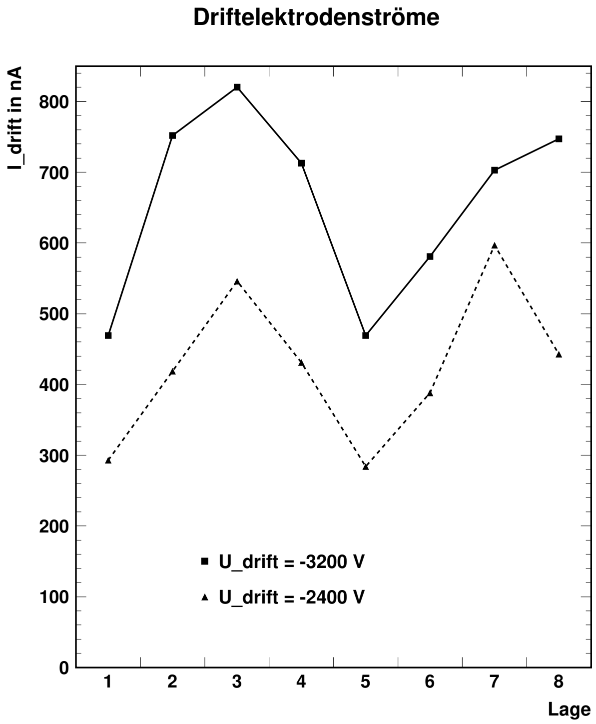


Abbildung 6.17: Vergleich der Driftströme für unterschiedliche Driftelektroden-Spannungen. Für die höhere Driftelektroden-Spannung sind die Ströme immer größer. Die in der Clusterladung auffälligen Lagen 1 und 5 zeigen niedrigere Ströme. Festgehaltene Größen: U_{drift} = -2400 V, U_{kath} = -490 V, U_{GEM} = 420 V.

Clusterbreiten

Für die Clusterbreite findet sich nur wenig Fluktuation (siehe Abbildung 6.18). Hier sind die Mittelwerte der Clusterbreiten von Einträgen auf Spuren aufgetragen. Auch die einzelnen Lagen verhalten sich sehr ähnlich im Mittelwert der Clusterbreiten. Daraus kann geschlossen werden, daß die Feldkonfigurationen, die sich aus der neuen Driftelektroden-Spannung von −2400 V ergeben, nicht so niedrig sind, daß die Diffusion der Elektronen im Zählgas größer wird.

Die Clusterbreite ist für alle veränderten Parameter relativ konstant. Hieraus läßt sich wenig Information für die Güte der Daten ziehen, deshalb sollen die Clusterbreiten im folgenden nicht weiter untersucht werden. Sie werden vorallem dann interessant, wenn Spuren im Magneten verfolgt werden, da aufgrund der Lorenzkraft, die dort auf die Elektronen wirkt, höhere Clusterbreiten erwartet werden, anhand derer der Lorenzwinkel bestimmt werden soll.

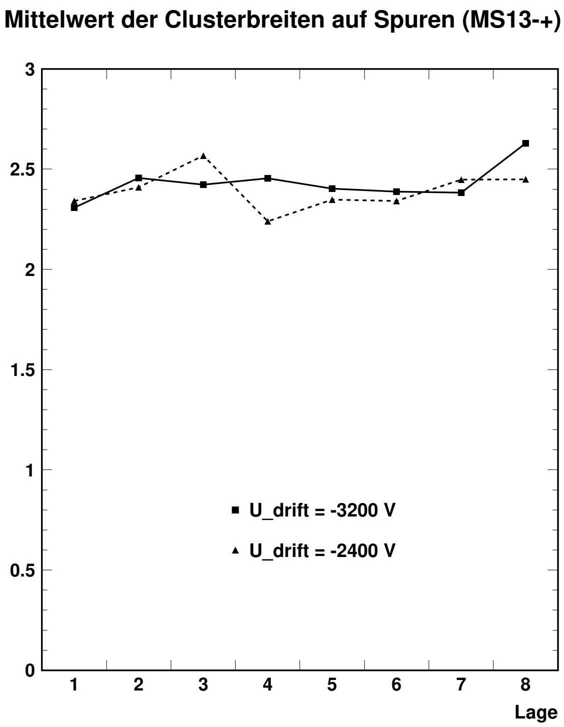


Abbildung 6.18: Diagramm der Mittelwerte der Clusterbreiten aller Einträge auf Spuren für alle Lagen der Station MS13−+. Festgehaltene Größen: U_{kath} = -490 V, U_{GEM} = 410 V, langsames Shaping.

Signal-zu-Rauschen

Als letzten Vergleich ist der Mittelwert des Verhältnisses von Signal zu Rauschen angegeben. Idealerweise würde man wünschen, daß sich dieses Verhältnis nicht ändert. Im Mittel über alle acht Kammern hat es sich jedoch bei der niedrigeren Driftelektroden-Spannung um etwa 12% nach unten verschoben:

- $<$Signal-zu-Rauschen(–3200 V)$> \approx$ 11,3
- $<$Signal-zu-Rauschen(–2400 V)$> \approx$ 10,1

Auch für das Signal-zu-Rausch-Verhältnis zeigt sich durchgehend für beide Driftelektroden-Spannungen für die Lagen 1, 4 und 5 ein niedrigerer Wert, und die Lage 7 zeigt ebenfalls ein auffälliges Verhalten, da sich ihr Wert mit den Spannungen kaum ändert. Dieser Vergleich der unterschiedlichen Driftelektroden-Spannungen sollte mit erhöhter Statistik und den neuen Verfahren zur Behandlung der Daten schlüssigere Ergebnisse liefern. Die Runs, die für diesen Vergleich aufgenommen wurden, erlauben aber keine höhere Statistik, da sie nur etwa die hier verwendete Anzahl von Ereignissen enthalten.

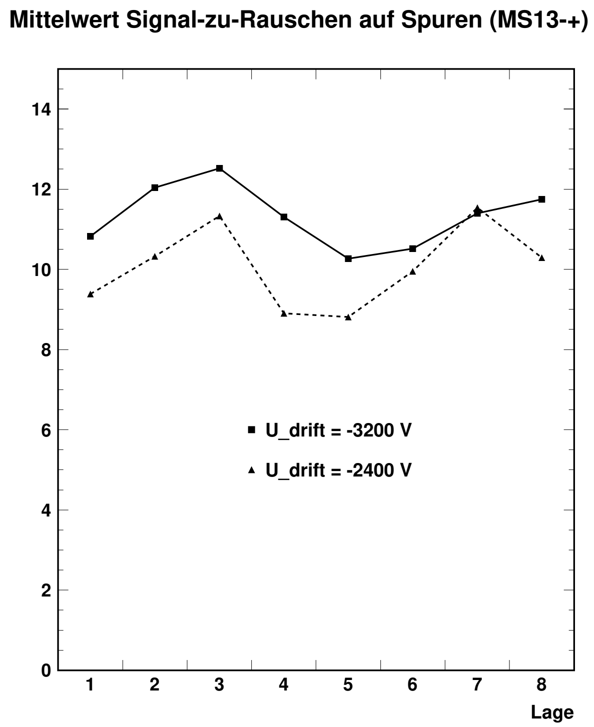


Abbildung 6.19: Diagramm der Mittelwerte des Verhältnisses von Signal zu Rauschen aller Einträge auf Spuren für die Lagen der Station MS13–+. Festgehaltene Größen: U_{kath} = -490 V, U_{GEM} = 410 V, langsames Shaping.

Zusammenfassung

Anhand der vorliegenden Diagramme kann man erkennen, daß man mit der neuen Einstellung für die Driftelektroden-Spannung mit $U_{\mathrm{drift}} = -2400$ V ein wenig an Signalen verliert und dadurch ineffizienter wird. Die Labormessungen, die auf eine Erhöhung der Clusterladung bei Reduktion der Driftspannung hindeuteten, konnten bei HERA-B nicht bestätigt werden. Da jedoch der Gewinn an Sicherheit für das System enorm ist, kann diese kleine Einbuße hingenommen werden.

Qualitativ kann die Aussage getroffen werden, daß die Lagen 4 und 5 in fast allen betrachteten Runs für die Einträge, Clusterladungen und das Signal-zu-Rausch-Verhältnis niedrigere Werte zeigen als der Durchschnitt der anderen Kammern, wobei Lage 4 teilweise die unverstandene Form der Occupancy zeigt, die wahrscheinlich auf elektronische Gründe zurückgeführt werden kann.

Zudem zeigt Lage 1 in manchen Runs niedrige Werte. Für das Diagramm der Mittelwerte der Anzahl der Einträge läßt sich dieses Verhalten eindeutig mit dem ausgefallenen Helix-Chip korrelieren.

6.2.2 Vergleich verschiedener Shapings

Um einen Vergleich zwischen dem langsamen und dem schnellen Shaping vorzunehmen, wurden Runs mit denselben Einstellungen der Hochspannungsparameter und derselben Targetrate aufgenommen. In Tabelle 6.3 sind die Einstellungen zusammengefaßt.

	Run 14462	Run 14468
U_{drift} in V	−2400V	−2400V
U_{kath} in V	−490V	−490V
U_{GEM} in V	420V	420V
Shaping	langsam	schnell

Tabelle 6.3: Die verschiedenen Einstellungen zur Untersuchung der unterschiedlichen Shapings des Helix-Chips. Es wurden Runs mit hoher GEM-Spannung ausgewählt.

Auch diese Runs wurden bei einer Targetrate von 10 MHz aufgenommen und es wurden 4000 Ereignisse betrachtet.

Einträge auf Spuren

Für die Einträge auf Spuren ergibt sich ein ähnliches Verhalten der Signale für beide Shapings. Der Einbruch der Lage 4, der auch schon im vorherigen Vergleich verschiedener Driftelektroden-Spannungen beobachtet wurde, hat sich für das schnelle Shaping etwas abgeschwächt. Hier liegt kein Schaden an der Kammer vor, sondern in der softwaresei-

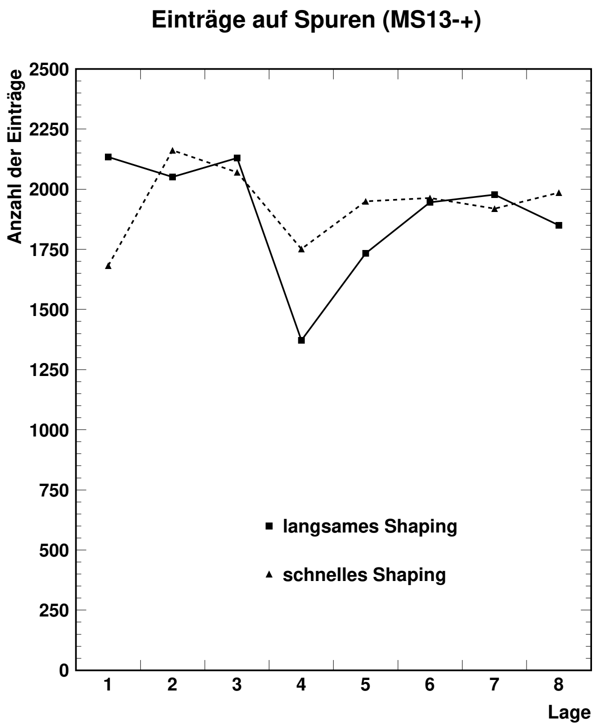


Abbildung 6.20: Diagramm der Mittelwerte des Verhältnisses von Signal zu Rauschen aller Einträge auf Spuren für die Lagen des Sektors MS13−+. Festgehaltene Größen: U_{drift} = -2400 V, U_{kath} = -490 V, U_{GEM} = 420 V.

tigen Behandlung der Daten ist ein Problem aufgetreten, denn die Occupancies zeigen ein ungewöhnliches Verhalten. Wahrscheinlich ist das auf die fehlerhafte Bestimmung des Rauschens zurückzuführen und tritt mit der neuen Behandlung des Rauschens nicht mehr auf. Die beiden Runs wurden im Abstand von etwa einer Stunde aufgenommen.

Der Mittelwert der Einträge ist außerdem für Lage 1 des Runs mit dem schnellen Shaping deutlich nach unten verschoben. Die Occupancy zeigt wieder, daß hier einer der sechs Helix-Chips ausgefallen ist, was den niedrigeren Wert erklärt. Bei einem mehrere Tage später aufgenommenen Run ist der Chip wieder aktiv, also war der Schaden nicht dauerhaft, sondern konnte mit einer neuen Programmierung der Helix-Chips behoben werden.

Zum Zeitpunkt der hier verwendeten Datennahmen (Februar und März 2000) war das Online-Monitoring, welches die Datenqualität überwacht, noch nicht in Betrieb. Inzwischen ist es voll funktionstüchtig. In Zukunft fallen also solche Probleme direkt auf und können dann sofort behoben werden.

Clusterladungen

In Abbildung 6.21 sind die Mittelwerte der Clusterladungen für die unterschiedlichen Shapings aufgezeigt. Wie erwartet erreicht man mit dem schnellen Shaping eine höhere Clusterladung, da die Verstärkung des Helix-Chip für dieses Shaping größer ist. Der Mittelwert über alle Lagen liegt um etwa 22% höher:

- <Clusterladung(langsam)>≈ 22,1 ADC-Einträge
- <Clusterladung(schnell)>≈ 28,4 ADC-Einträge

Signal-zu-Rauschen

Abbildung 6.22 zeigt die Mittelwerte des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses. Es zeigt sich, daß der Gewinn an Clusterladung, wie er im Diagramm beobachtet wird, nicht zu einem großen Gewinn des Verhältnisses von Signal zu Rauschen führt. Gleichzeitig mit der höheren Verstärkung der Signale wird auch das Rauschen erhöht, so daß insgesamt nicht viel gewonnen werden kann. Die Mittelwerte über alle Kammern betragen:

- <Signal-zu-Rauschen(langsam)>≈ 10,5
- <Signal-zu-Rauschen(schnell)>≈ 10,9

Der Gewinn, den man mit dem schnellen Shaping gewinnen kann, liegt also nur bei ca. 3% und ist damit verschwindend gering.

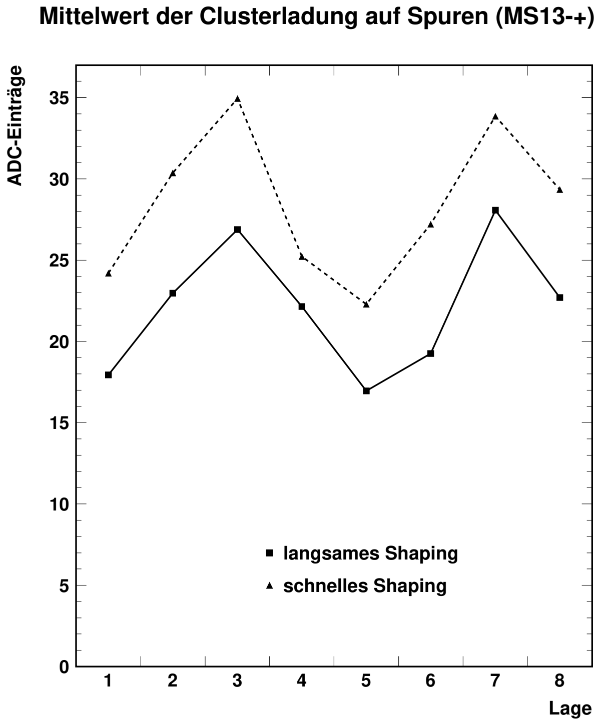


Abbildung 6.21: Vergleich der Clusterladungen bei verschiedenen Shapings. Die höhere mittlere Clusterladung des schnellen Shapings ergibt sich aus der höheren Verstärkung des Helix-Chip.
Festgehaltene Größen:
U_{drift} = -2400 V,
U_{kath} = -490 V,
U_{GEM} = 420 V.

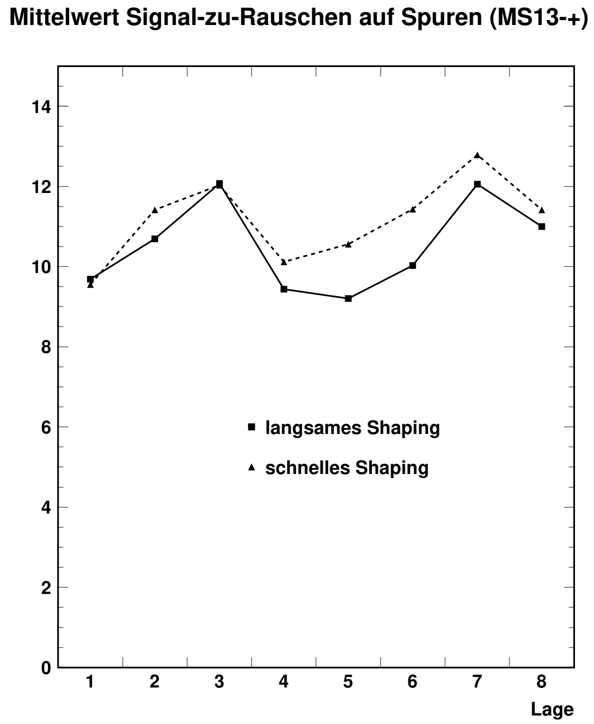


Abbildung 6.22: Diagramm der Mittelwerte des Verhältnisses von Signal zu Rauschen aller Einträge auf Spuren für die Lagen der Station MS13–+.
Festgehaltene Größen:
U_{drift} = -2400 V,
U_{kath} = -490 V,
U_{GEM} = 420 V.

Bunchcrossing-Spektrum

Zusammenfassend erhält man mit dem schnellen Shaping ein in etwa vergleichbares Verhalten im Signal-zu-Rausch-Verhältnis der Kammern wie mit dem langsamen. Der große Gewinn, den man mit dem schnellen Shaping erhält, liegt in der verringerten Anzahl von Hits, die auch beim darauffolgenden Ereignis noch mitgezählt werden, weil ihr Signal noch nicht weit genug abgefallen ist. Dies sollte im Bunchcrossing-Spektrum der Kammern zu sehen sein. In den Lücken zwischen den einzelnen Bunchen sollten sich idealerweise keine Einträge finden. Zu diesem Zweck wird die Anzahl der Ereignisse in einer Kammer gegen die Bunchnummer aufgetragen. Die Spektren sind in Abbildung 6.23 und 6.24 dargestellt. In dem Spektrum der Kammern kann das Füllschema des HERA-Protonen-Speicherrings wiedererkannt werden, wobei die Numerierung der Bunche im Vergleich zur schematischen Abbildung 6.1 verschoben ist. Die Abbildung 6.24 zeigt ein Bunchcrossing-Spektrum, wie es mit erhöhter Statistik erreicht werden kann [52]. Hier wurden für die Lage 2 der Station MS01++ 30000 Ereignisse mit der neuen Pedestal- und Baseline-Behandlung bearbeitet. Insgesamt sind die Bunchspektren aus verschiedenen Gründen nicht ganz so sauber, wie man unter idealen Bedingung erwarten würde.

Das liegt zum einen daran, daß der Protonen-Strahl nicht völlig diskret gebündelt ist, sondern daß auch zwischen den einzelnen Bunchen eine gewisse Verteilung von Protonen zu finden ist ("Coasting Beam"). Auch in dem Run, der für das Bunchcrossing-Spektrum der Abbildung 6.24 verwendet wurde, scheint der Coasting-Beam Anteil recht hoch gewesen zu sein, wie man am hohen Untergrund erkennen kann. Außerdem sind im HERA-Protonen-Strahl die einzelnen Bunche nicht völlig identisch. Es finden sich solche, die mehr zur HERA-*B*-Wechselwirkungsrate beitragen als andere, weil zum Beispiel ihre Ausdehnung oder ihre Anzahl an Protonen größer ist. In Verbindung mit dem nicht ganz diskret gebündelten Protonen-Strahl sind dadurch die Bunch-Lücken zum Teil aufgefüllt.

Zum anderen kann im Vergleich der Abbildungen in 6.23 und der Abbildung 6.24, die mit dem verbesserten Algorithmus zur Rauschunterdrückung erstellt wurde, gesehen werden, daß mit dem verbesserten Algorithmus die Lücken zwischen den einzelnen Bunchen deutlich ausgeprägter sind. Die nicht unterdrückten Rausch-Signale füllen also einen Großteil der Lücken auf.

Ein weiterer Grund des unsauberen Bunchspektrums liegt in der Zahl der Hits, die eigentlich dem vorherigen Ereignis zugehören. Der Vergleich zwischen den beiden Shapings in Abbildung 6.23 zeigt jedoch, daß die Lücken zwischen den Bunchen mit dem schnellen Shaping ausgeprägter sind, wie auch erwartet wird. In der Vergrößerung der Bunchspektren ist die 15 Bunches große Kickerlücke zu sehen. Bei dem langsamen Shaping ist der Abfall zur Lücke hin wesentlich weniger scharf definiert als beim schnellen Shaping.

In Abbildung 6.25 ist das Bunchcrossing-Spektrum des gleichen Runs für den Vertex-Detektor zu sehen. Hier sind die einen Bunch breiten Lücken deutlich ausgeprägter. Der direkte Vergleich kann jedoch aus zwei Gründen nur bedingt gezogen werden, obwohl der Vertex-Detektor den gleichen Helix-Chip verwendet. Da jedoch die Kapazität der Kanäle dieses Detektors sehr viel kleiner ist, sind die Ausgangspulse bei gleichen Helix-Einstellungen wesentlich kürzer. Deshalb ist das Rauschen deutlich kleiner und das Problem der Hits, die zum zweiten Mal gezählt werden, ist nicht gegeben.

Außerdem wurde für die Rekonstruktion des Bunchcrossing-Spektrum des Vertex-Detektors anders verfahren. Es wurden nur solche Ereignisse verwendet, die auf Spuren liegen und die Kanäle, die bei jedem Ereignis einen Hit zeigen, ("heiße Kanäle") wurden aussortiert. Für das Spektrum der Inneren Spurkammern wurden alle Einträge benutzt. Auch für den Vertex-Detektor zeigt sich aber, daß die Kickerlücke, in der eigentlich keine Wechselwirkungen stattfinden und in der deshalb keine Einträge im Spektrum zu sehen sein sollten, nicht völlig leer ist. Das deutet darauf hin, daß im Run 14468 ein Anteil an Coasting Beam vorhanden war, der dazu führte, daß auch in den eigentlich leeren Zwischenräumen der Protonenbunche Wechselwirkungen stattgefunden haben.

Zusammenfassung

Insgesamt gelingt es mit dem schnellen Shaping sowohl das Bunchcrossing-Spektrum zu verbessern, also die Anzahl der Hits, die zum zweiten mal gezählt werden, zu verringern, als auch im Verhältnis von Signal zu Rauschen zu gewinnen.

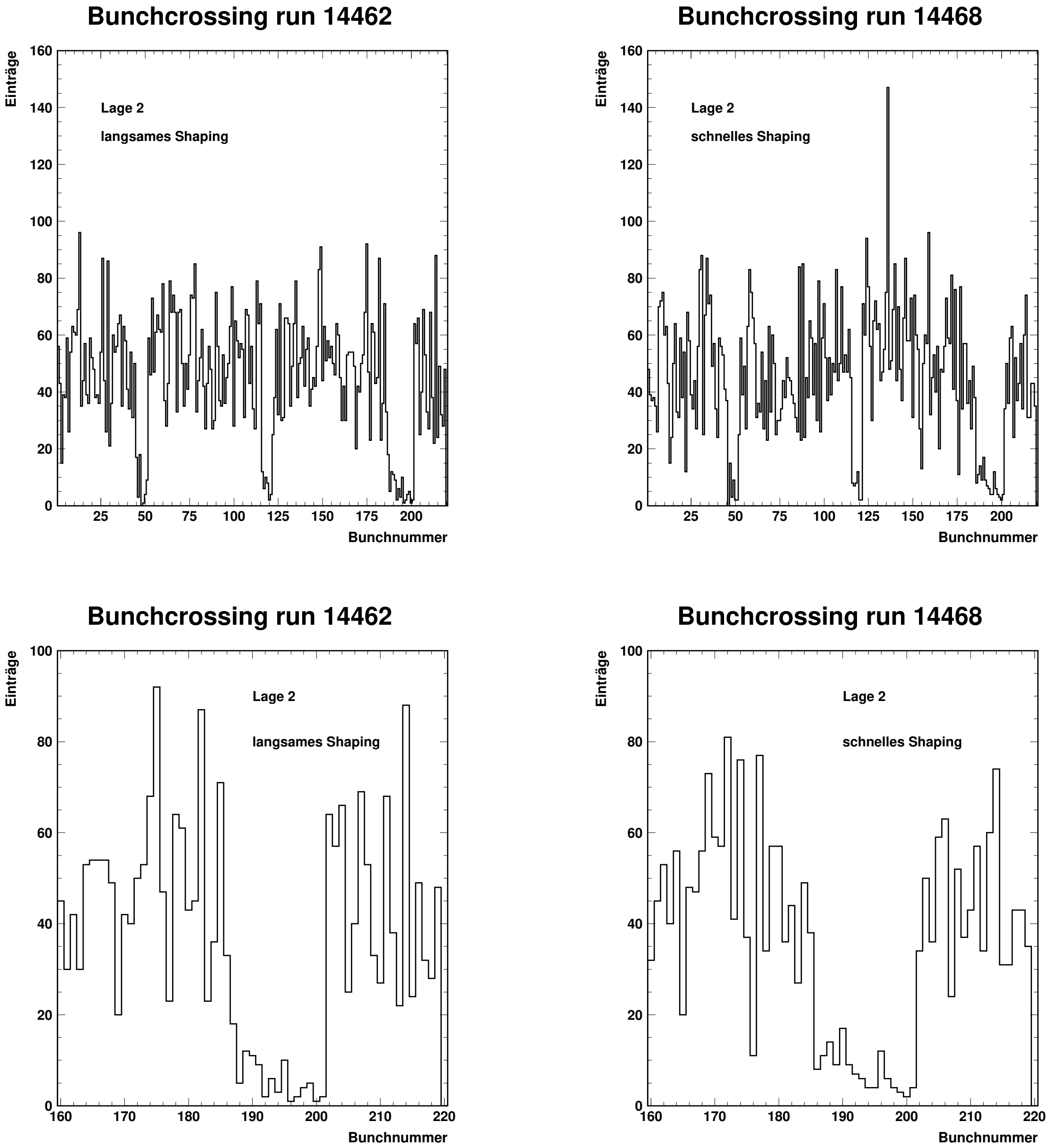


Abbildung 6.23: Vergleich des Bunchcrossing-Spektrums bei verschiedenen Shapings. Die oberen Bilder zeigen das gesamte Spektrum, im Vergleich zur schematischen Zeichnung auf Seite 67 ist die Bunchnummer nach links verschoben. Für beide Shapings ist deutlich das erwartete Bunchcrossing-Spektrum zu sehen. In der Vergrößerung (untere Bilder) ist aber zu erkennen, daß für das langsame Shaping der Abfall der Einträge in den nicht mit Protonen gefüllten Bunchen sehr viel weniger ausgeprägt ist. Im Vergleich dazu ist in Abbildung 6.25 das Bunchcrossing-Spektrum des Vertex-Detektors für den gleichen Run abgebildet.
Festgehaltene Größen:
U_{drift} = -2400 V,
U_{kath} = -490 V,
U_{GEM} = 420 V.

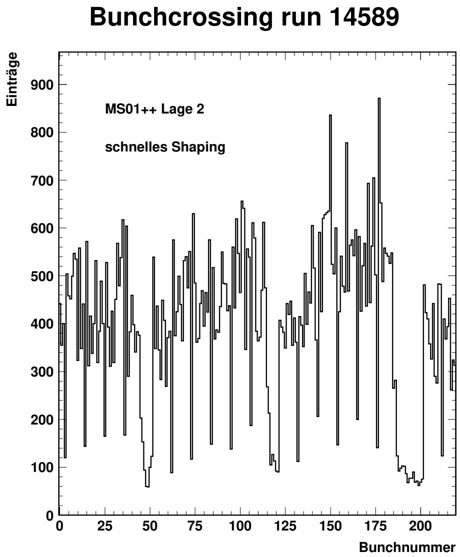


Abbildung 6.24: Das Bunchcrossing-Spektrum der Lage 2 des Sektors MS01++ mit besserer Pedestal- und Baseline-Behandlung und erhöhter Statistik. Der Run wurde bei 1 MHz Target-Rate mit den schnellen Helix-Einstellungen, $U_{\mathrm{drift}} = -2400$ V, $U_{\mathrm{kath}} = -490$ V und $U_{\mathrm{GEM}} = 410$ V aufgenommen. Obwohl bei diesem Run ein hoher "Coasting Beam"-Anteil vorhanden war, sieht man sehr deutlich die erwartete Struktur des HERA-Bunchcrossing-Spektrums

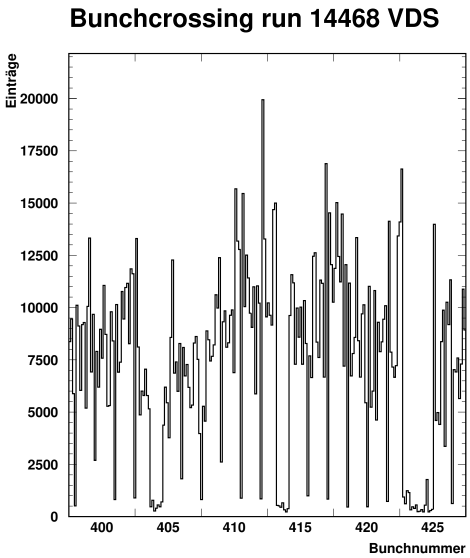


Abbildung 6.25: Das Bunchcrossing-Spektrum des Vertex-Detektors zeigt eine bessere Struktur als das des Inneren Spurkammersystems. Trotzdem ist zu erkennen, daß auch hier die Lücken zwischen den Protonen-Bunchen nicht völlig leer sind. Das deutet auf den Beitrag des Coasting Beams hin.

6.2.3 Evaluierung der HV-Einstellungen für die neuen Betriebsbedingungen

Aufgrund der Überlegungen zur Sicherheit des Systems und des besser geeigneten Shapings werden die Inneren Spurkammern seit März 2000 mit den neuen Einstellungen betrieben:

- $U_{\mathrm{drift}} = -2400$ V und
- schnelles Shaping mit $V_{fs} = 1$ V und $I_{pre} = 400\ \mu$A.

In den obigen Betrachtungen wurde dargelegt, daß der Verlust an relevanten Signalen nur marginal ist und das System mit den neuen Einstellungen bei einem großen Gewinn an Betriebssicherheit einsatzfähig bleibt.

Um das Verhalten der Kammern weiter zu optimieren, bleiben noch zwei weitere Parameter, die Kathodenspannung und die GEM-Spannung, die verändert werden können. Dabei muß aber darauf geachtet werden, daß das Risiko für Überschläge nicht wieder anwächst. Die Einstellungen müssen deshalb sorgfältig untersucht werden. Im folgenden soll der Einfluß dieser beiden Parameter auf die schon vorgestellten Größen wie zum Beispiel das Verhältnis Signal zu Rauschen untersucht werden.

Einfluß der GEM-Spannung

Um den Einfluß der GEM-Spannung auf das Verhalten der Kammern zu analysieren, wurden sechs Runs mit unterschiedlichen GEM-Spannungen genommen. Alle weiteren Parameter wurden fest gelassen. Die Einstellungen sind in Tabelle 6.4 zusammengefaßt:

Run	U_{drift} in V	U_{kath} in V	U_{GEM} in V	Shaping
14464	−2400	−490	**400**	schnell
14465			**405**	
14466			**410**	
14467			**415**	
14468			**420**	
14469			**425**	

Tabelle 6.4: Tabelle der verwendeten Runs mit verschiedenen GEM-Spannungen. Alle anderen Parameter wurden unverändert gelassen. Die Target-Rate betrug 10 MHz.

Alle Runs wurden bei einer Targetrate von 10 MHz aufgenommen und es wurden jeweils 4000 Ereignisse betrachtet.

Einträge auf Spuren

Diagramm 6.26 zeigt, daß der Mittelwert der Einträge auf Spuren konstant mit Erhöhung der GEM-Spannung zunimmt (siehe Abbildung 6.27). Würden sich die Kammern in einem effizienten Bereich befinden, dürfte sich die Anzahl der gefundenen Spuren nicht mehr stark

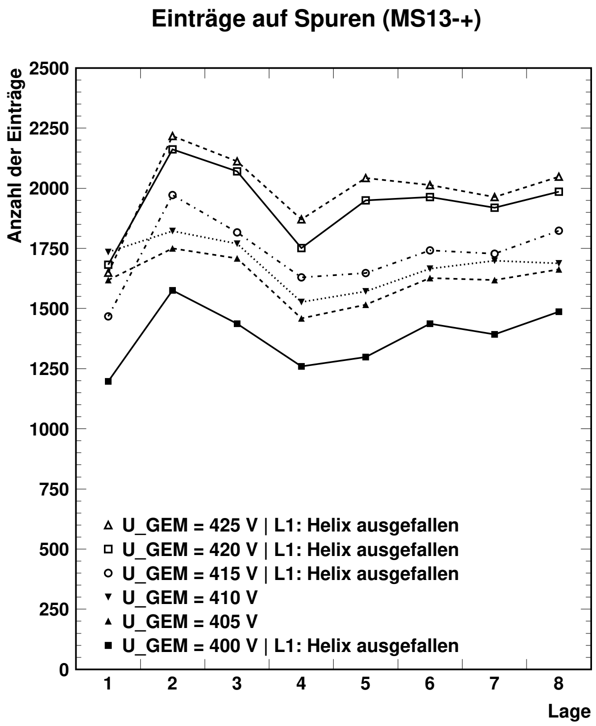


Abbildung 6.26: Diagramm der Mittelwerte der Einträge auf Spuren für alle Lagen der Station MS13–+. Der Mittelwert nimmt mit steigender GEM-Spannung weiter zu. Im Diagramm ist gekennzeichnet, bei welchen Runs ein Helix der Lage 1 ausgefallen ist. Dies ist korreliert mit einem niedrigeren Wert für die Lage 1.
Festgehaltene Größen:
U_{drift} = -2400 V,
U_{kath} = -490 V,
schnelles Shaping.

ändern, wenn die GEM-Spannung erhöht wird, da alle tatsächlichen Hits schon als solche gezählt werden. Eine Erhöhung der Spannung sollte nur zu höheren Pulshöhen führen und keine echten Hits mehr über die Schwelle hervorheben. Zumindest sollte der Zugewinn an Spuren immer kleiner werden, je höher die GEM-Spannung ist. Die Mittelwerte für die Einträge auf Spuren für die niedrigste und die höchste GEM-Spannung betragen:

- $<$Einträge(425 V)$>$ $\approx$ 2038
- $<$Einträge(400 V)$>$ $\approx$ 1412

Die Lage 1 ist hier in die Berechnung nicht mit eingegangen. Da die Anforderung an Spuren bedeutet, daß von acht möglichen Hits mindestens sechs aufgetreten sind, kann die Erhöhung um ca. 44%, die hier beobachtet wird, nicht nur dadurch erklärt werden, daß pro Spur mehr Einträge aufgetreten sind. In Abbildung 6.28 ist das Verhalten zweier Lagen bei verschiedenen GEM-Spannungen aufgetragen. Der konstante Anstieg macht deutlich, daß sich bei diesen Spannungskonfigurationen noch kein Plateau für die Einträge auf Spuren ausbildet.

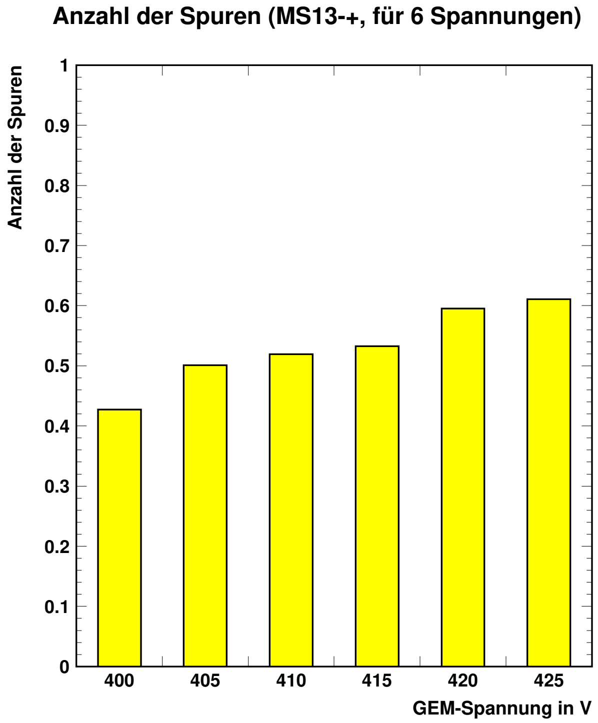


Abbildung 6.27: Die Anzahl der Spuren für sechs verschiedene GEM-Spannungen normiert auf die Anzahl der Ereignissse. Man sieht, daß die Anzahl stetig wächst.
Festgehaltene Größen:
U_{drift} = -2400 V,
U_{kath} = -490 V,
schnelles Shaping.

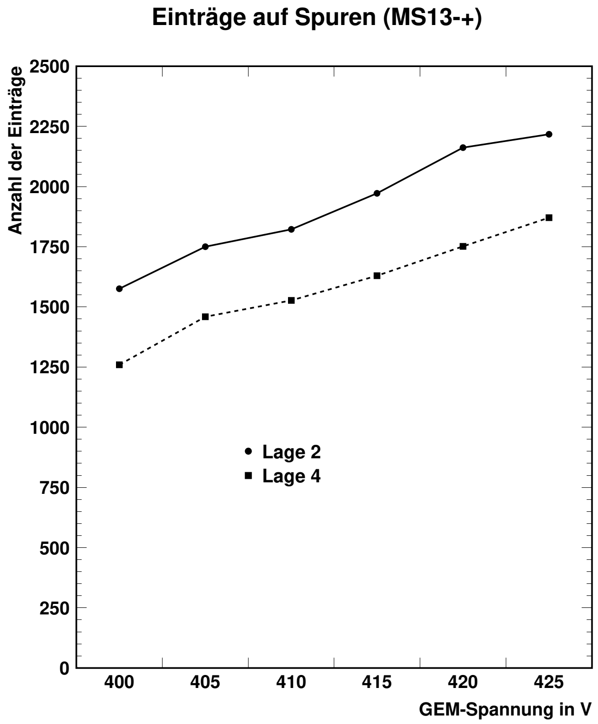


Abbildung 6.28: Das Verhalten der Lagen 2 und 4 für verschiedene GEM-Spannungen. Es zeigt sich, daß sich bei Erhöhung der GEM-Spannung kein Plateau für die Anzahl der Einträge ausbildet.
Festgehaltene Größen:
U_{drift} = -2400 V,
U_{kath} = -490 V,
schnelles Shaping.

Clusterladungen

In Abbildung 6.29 ist die Änderung der Clusterladung mit der GEM-Spannung dargestellt. Wie erwartet, nimmt sie stetig zu, denn eine höhere GEM-Spannung führt zu einer höheren Gasverstärkung. Allerdings steigt die GEM-Spannung nicht proportional zur Gasverstärkung. Ein Teil der zusätzlich erzeugten Ladungen führen zu erhöhten GEM- und Kathodenströmen und tragen so nicht zur Clusterladung bei. Die Mittelwerte über alle Lagen für den höchsten und den niedrigsten Wert der GEM-Spannung sind die folgenden:

- <Clusterladung(425 V)>≈ 28 ADC-Einträge
- <Clusterladung(400 V)>≈ 25 ADC-Einträge

Das entspricht einer Zunahme der Clusterladung von etwa 12% bei einer Erhöhung der GEM-Spannung um 25 V (6%).

Signal-zu-Rauschen

Wie in Abbildung 6.30 zu sehen ist, wächst mit der Erhöhung der GEM-Spannung das Verhältnis von Signal zu Rauschen kontinuierlich an. Ein Unterschied in der GEM-Spannung von 6% bewirkt eine Erhöhung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses von ca. 20%. Für die Mittelwerte über alle Lagen der höchsten und niedrigsten GEM-Spannung ergibt sich:

- <Signal-zu-Rauschen(425 V)>≈ 11,6
- <Signal-zu-Rauschen(400 V)>≈ 9,6

Wenn sich die Kammern in einem effizienten Arbeitsbereich befinden würden, müßte das Signal-zu-Rausch-Verhältnis stärker ansteigen als in Abbildung 6.30 zu sehen ist. Solange aber noch kein Umknicken des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses (siehe Abbildung 6.31) zu sehen ist, wie man es für eine Landau-Verteilung erwartet, kann eine Veränderung zu höherer GEM-Spannung nicht zu einer noch stärkeren Änderung im Signal-zu-Rauschen führen. Die Kurve verschiebt sich zwar nach oben, der Mittelwert ändert sich aber nur wenig. In Abbildung 6.31 sind die beiden Kurven für das Signal-zu-Rausch-Verhältnis übereinander aufgetragen.

Zusammenfassung

Durch das Variieren der GEM-Spannung kann das Signal-zu-Rausch-Verhältnis erhöht werden. Leider zeigt sich, daß die GEM-MSGC-Kammern sich noch nicht in einem effizienten Betriebsbereich befinden. Eine genauere Aussage ist jedoch erst mit der Bestimmung der Effizienzen möglich, die derzeit noch nicht abgeschlossen ist. Auch eine bessere Bestimmung des Rauschens, die momentan (April 2000) in Vorbereitung ist, kann eventuell zu einem höheren Signal-zu-Rausch-Verhältnis führen, wodurch auch die Effizienz besser wird.

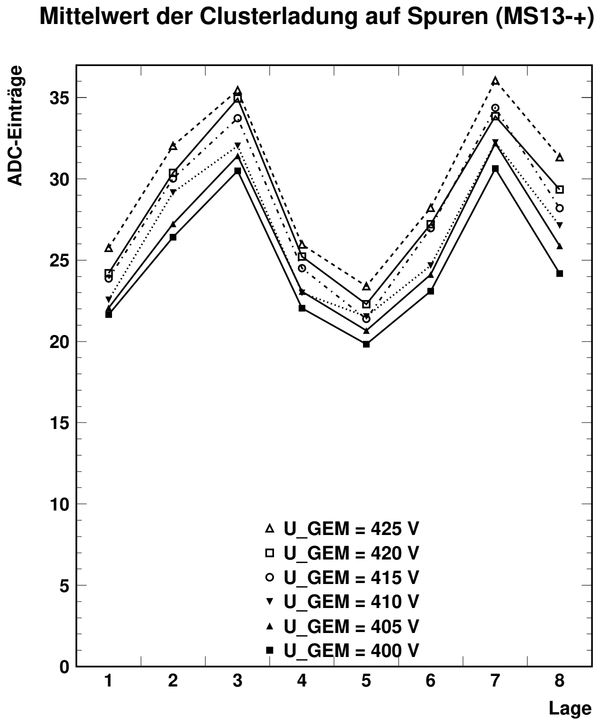


Abbildung 6.29: Diagramm der Mittelwerte der Clusterladungen aller Einträge auf Spuren für die Lagen der Station MS13–+. Da mit erhöhter GEM-Spannung eine höhere Gasverstärkung erreicht wird, nimmt die Clusterladung stetig zu.
Festgehaltene Größen:
U_{drift} = -2400 V,
U_{kath} = -490 V,
schnelles Shaping.

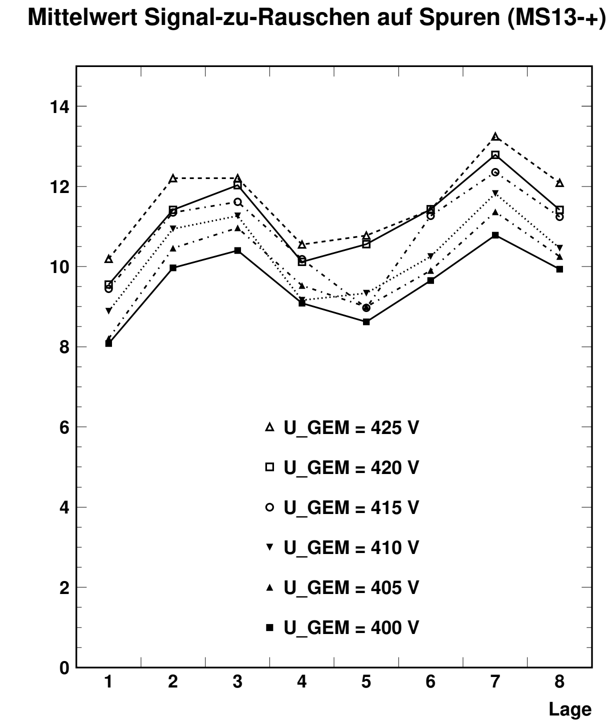


Abbildung 6.30: Der Mittelwert des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses auf Spuren für alle Lagen der Station MS13–+.
Festgehaltene Größen:
U_{drift} = -2400 V,
U_{kath} = -490 V,
U_{GEM} = 420 V.

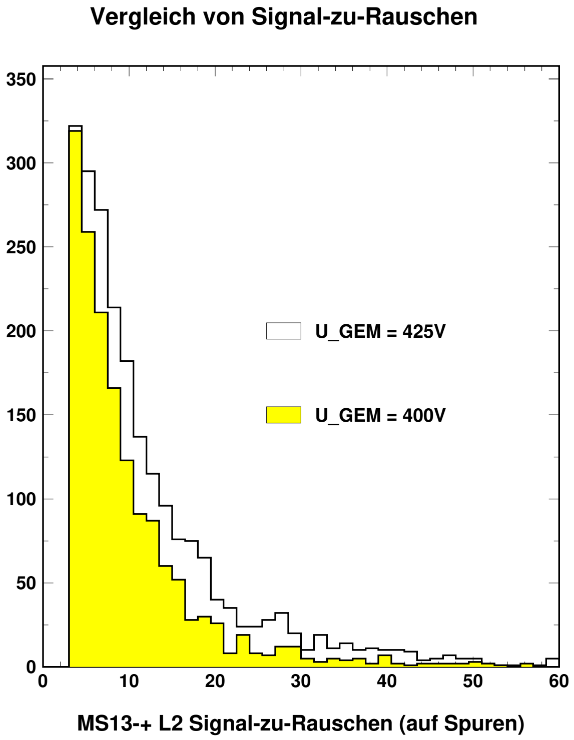


Abbildung 6.31: Die Abbildung zeigt den direkten Vergleich der beiden Verhältnisse von Signal zu Rauschen auf Spuren für zwei GEM-Spannungen. Die ausgefüllte niedrigere Kurve entspricht einer GEM-Spannung von U_{GEM} = 400 V, die höhere entspricht einer Spannung von U_{GEM} = 425 V. Da für beide Kurven noch kein Maximum in der Verteilung zu sehen ist, verschiebt sich auch der Mittelwert nicht viel.
Festgehaltene Größen:
U_{drift} = -2400 V,
U_{kath} = -490 V,
U_{GEM} = 420 V.

Einfluß der Kathoden-Spannung

Der letzte Parameter, der im Rahmen dieser Analyse verändert wurde, ist die Kathoden-Spannung. Um das Verhalten der Kammern bei verschiedenen Kathoden-Spannungen zu untersuchen, sind die Runs, die in Tabelle 6.5 aufgelistet sind, verwendet worden. Hierbei

Run	U_{drift} in V	U_{kath} in V	U_{GEM} in V	Shaping	#Ereignisse
14464			400		
14466		–490	410		
14468			**420**		4000
14470			400		
14471	–2400	–500	410	schnell	
14473			**420**		
14477			400		1000
14476		–510	410		
14474			**420**		

Tabelle 6.5: Tabelle der verwendeten Runs mit verschiedenen Kathoden-Spannungen. Die Target-Rate betrug 10 MHz.

wurde nicht überall die gleiche Anzahl von Ereignissen bearbeitet, wie in der Tabelle vermerkt ist. Für die Betrachtungen der Mittelwerte, die nach Lagen der MS13–+ aufgeschlüsselt sind, wurden die Runs mit dem Wert für $U_{\text{GEM}} = 420$ V verwendet.

Einträge auf Spuren

Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl der bearbeiteten Ereignisse wurden in Abbildung 6.32 die Anzahl der Einträge auf Spuren auf die jeweilige Zahl von Ereignissen normiert. Es zeigt sich das erwartete Verhalten mit steigender Kathodenspannung. Für die Mittelwerte über alle Lagen ergibt sich für die Runs mit $U_{\text{kath}} = -490$ V und –510 V:

- <Einträge auf Spuren(–490 V)>$\approx$ 0,51
- <Einträge auf Spuren(–510 V)>$\approx$ 0,66

Eine Erhöhung der Kathodenspannung um 20 V (4%) ermöglicht also einen Zuwachs der Einträge auf Spuren von 30%. Im Vergleich dazu ist der Unterschied bei unterschiedlichen GEM-Spannungen zu sehen. Hier erhält man 40% mehr Einträge bei einer Erhöhung der GEM-Spannung um 5% (Von 400 V auf 420 V, alle Lagen berücksichtigt). Bei allen Runs ist analog zu den Ausführungen zum Vergleich verschiedener Shapings auf Seite 91 ein Chip der Lage 1 ausgefallen. Das erklärt den durchgehend niedrigen Wert der Lage 1. Lage 4 zeigt ebenfalls durchgehend für alle hier betrachteten Runs zwei im Rauschen stark erhöhte Chips in Verbindung mit einer niedrigen Occpuancy der restlichen Daten. Dies ist analog zu vorherigen Ausführungen auf Seite 84.

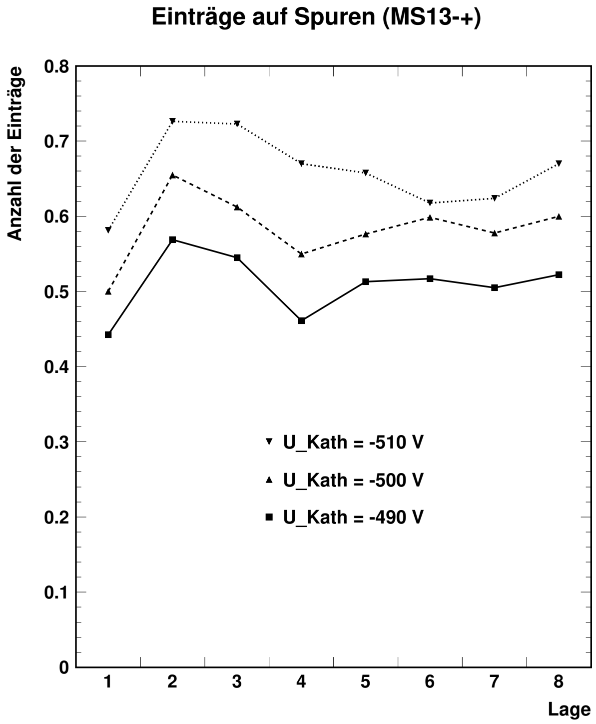


Abbildung 6.32: Die Abbildung zeigt die mittleren Einträge auf Spuren für verschiedene Kathodenspannungen. Da für die Runs eine unterschiedliche Anzahl von Ereignissen betrachtet wurde, ist hier auf diese Anzahl normiert.
Festgehaltene Größen:
U_{drift} = -2400 V,
U_{GEM} = 420 V,
schnelles Shaping.

Clusterladungen

In Abbildung 6.33 ist zu sehen, daß die Clusterladung mit steigender Kathoden-Spannung zunimmt, wie qualitativ auch erwartet. Der Mittelwert über alle Lagen zeigt für die Runs mit $U_{\mathrm{kath}} = -490$ V und -510 V

- $<$Clusterladung(-490 V)$> \approx$ 28,4 ADC-Einträge
- $<$Clusterladung(-510 V)$> \approx$ 31,4 ADC-Einträge,

also eine Erhöhung um 10%. Da die für beiden Runs mit -500 und -510 V Kathodenspannung nur 1000 Ereignisse betrachtet wurden, ist die Statistik recht niedrig und die teilweise aufeinanderliegenden Kurven für -490 und -500 V läßt sich dadurch wahrscheinlich erklären. Da die Anzahl der der Einträge auf Spuren mit der Kathodenspannung zunimmt, müssen im hier verwendeten Spurfindungsalgorithmus immer mehr Kombinationen ausprobiert werden und die Rechenzeit geht sehr in die Höhe. Aus diesem Grund konnte mit dem verwendeten Algorithmus in der ARTE-Umgebung von HERA-B keine höhere Statistik erreicht werden. Bei Umstellung auf das Programm RANGER [28] sollten diese Schwierigkeiten behoben werden.

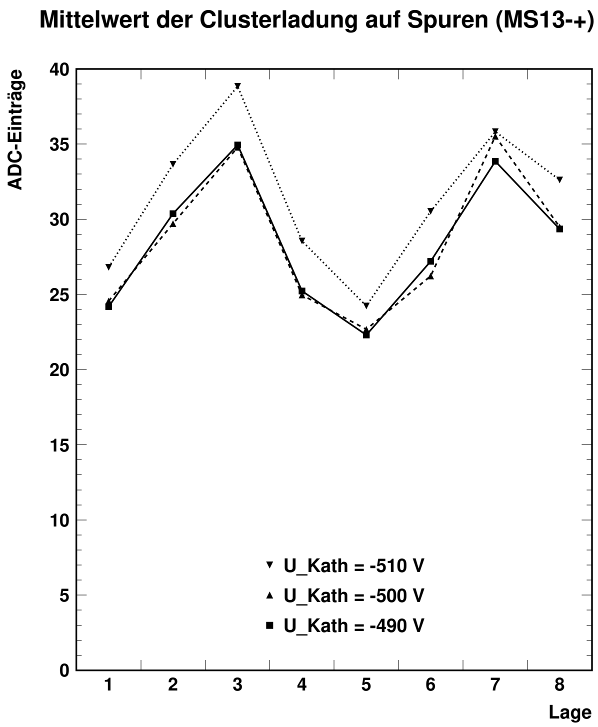


Abbildung 6.33: Die Clusterladungen für verschiedene Kathodenspannungen.
Festgehaltene Größen:
U_{drift} = -2400 V,
U_{GEM} = 420 V,
schnelles Shaping.

Signal-zu-Rauschen

Für das Verhältnis von Signal zu Rauschen ergibt sich nach Abbildung 6.34 für die Mittelwerte aller Lagen:

- <Signal-zu-Rauschen(–490 V)>≈ 11,2
- <Signal-zu-Rauschen(–510 V)>≈ 12,5

Das entspricht bei 4% Unterschied in der Kathodenspannung einer Erhöhung um ca. 11%. Im Vergleich erreicht man bei einer Erhöhung der GEM-Spannung um 5% eine Änderung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses von 17%.

Auch hier gilt die im vorigen Abschnitt gemachte Bemerkung, daß sich die Unstimmigkeiten für die beiden Kathodenspannungen –490 V und –500 V mit höherer Statistik und dem Programmpaket RANGER wahrscheinlich aufklären lassen.

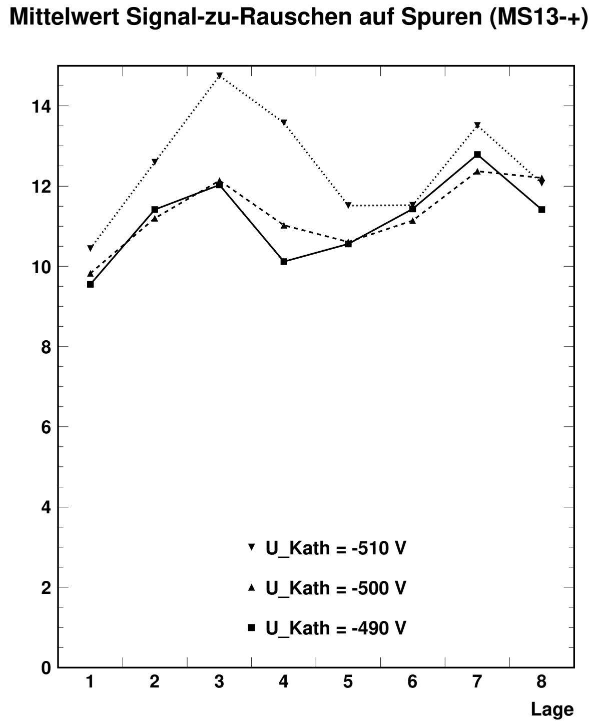


Abbildung 6.34: Das Verhältnis von Signal zu Rauschen für verschiedene Kathodenspannungen.
Festgehaltene Größen:
U_{drift} = -2400 V,
U_{GEM} = 420 V,
schnelles Shaping.

Zusammenfassung

Die Änderungen der Kathoden- und GEM-Spannungen zu höheren Werten bringen auch die Gefahr mit sich, daß wieder Überschläge auftreten. Diese Gefahr sollte ursprünglich verringert werden, in dem die Driftelektroden-Spannung von –3200 V auf –2400 V gesetzt wurde. Es ist deshalb nicht sinnvoll, die Spannungen beliebig zu erhöhen.

Insgesamt kann ein großer Zugewinn im Verhältnis von Signal zu Rauschen erhalten werden, indem sowohl Kathoden als auch GEM-Spannung langsam verändert werden. Leider ist noch kein Maximum der Landauverteilung für die Signal-zu-Rausch-Kurve zu erkennen.

In Abbildung 6.35 sind die Mittelwerte abgebildet, die über alle Lagen der Station MS13–+ gebildet worden sind. Es wurden folgende Spannungswerte verwendet:

- U_{GEM} = 400 V, 410 V, 420 V und
- U_{kath} = –490 V, –500 V, –510 V

Dabei ist zu sehen, daß das Verhältnis von Signal zu Rauschen immer weiter steigt, wenn man einen der Spannungs-Parameter ändert, dabei ist aber kein schneller werdendes Anwachsen zu beobachten

Da eine weitere Erhöhung der Spannungen jedoch die oben genannten Risiken mit sich bringt, ist es momentan nicht sinnvoll, die Spannungen weiter zu erhöhen. Bevor eine endgültige Einstellung der Betriebsspannungen erfolgt, sollen die Probleme der Rauschunterdrückung gelöst werden um eine zuverlässigere Basis für die Evaluation des Detektorverhaltens zu bekommen. Eine weitere Erhöhung der Betriebsspannungen ist aber voraussichtlich erforderlich.

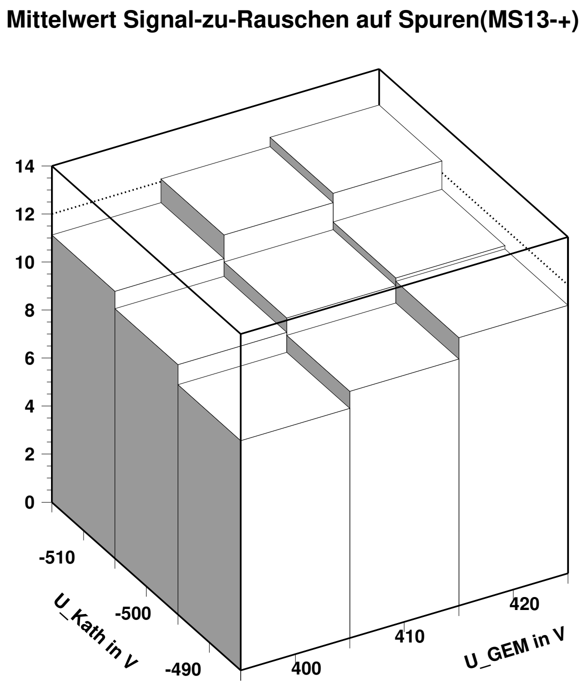


Abbildung 6.35: Die Abbildung zeigt das Verhältnis von Signal zu Rauschen für verschiedene Kathoden- und GEM-Spannungen. Hierbei ist jeweils der Mittelwert für alle Lagen der Station MS13–+ eingetragen.
Festgehaltene Größen:
U_{drift} = -2400 V,
schnelles Shaping.

6.2.4 Schlußbetrachtung

Abschließend kann zusammengefaßt werden, daß die neue Einstellung von −2400 V für die Driftelektroden-Spannung keinen Verlust an Kammer-Effizienz bedeutet, wobei mit den hier gemachten Vergleichen nur eine Aussage über die relative Effizienz gemacht werden kann. Außerdem erhält man mit dem schnellen Shaping, das in Zukunft verwendet wird, gute Ergebnisse, die im Signal-zu-Rausch-Verhältnis vergleichbar mit dem langsamen Shaping sind, aber weniger Nachpulse liefern.

Zusätzlich ist es möglich, durch Erhöhung der Kathoden-, sowie der GEM-Spannung weiter an Effizienz zu gewinnen, so daß insgesamt ein deutlicher Anstieg des Verhältnisses von Signal zu Rauschen erreicht wird. Der Arbeitspunkt erscheint jedoch noch nicht optimal und erfordert eine weitere Verbesserung. Die neue Bestimmung des Rauschens kann eventuell schon eine höhere Effizienz erbringen. Dies ist, wie schon erwähnt, in Vorbereitung und hat hohe Priorität. Auch die bessere Anpassung der Baseline und der Pedestals ist vorgesehen und in Bearbeitung, womit nach einer vorläufigen Analyse Daten höherer Qualität erhalten werden können [52]. Somit kann erwartet werden, daß sich die Situation noch verbessert und die hier gezogenen Schlüsse mit Daten besserer Qualität belegt werden können und noch aussagekräftiger werden, weil kleine Unschlüssigkeiten aufgelöst werden können.

Im Rahmen dieser Arbeit hat sich eine schnelle und effektive Möglichkeit herauskristallisiert, mit der ein erster Eindruck der Daten gewonnen werden kann. Es ist nun möglich, zukünftige Datennahmen mit verbesserter Bestimmung des Rauschens und der Pedestals beziehungsweise Baselines zügig zu untersuchen. Dabei kann im Unterschied zur Online-Untersuchung der Daten, die schon während der laufenden Datennahme ein erstes Bild über die Qualität liefert, auf Informationen von Hits auf Spuren zurückgegriffen werden.

Kapitel 7

Schlußbemerkung

Im Rahmen dieser Arbeit konnte ein erheblicher Beitrag zur Inbetriebnahme des Inneren Spurkammersystems geleistet werden. Während des letzten Jahres wurden alle Stationen im Magneten und im Spurfindungs-Bereich eingebaut und können unter anderem mit Hilfe des bereitgestellten Programms zur Steuerung der Hochspannungen sicher betrieben werden.

Für die Zukunft kann unter Zuhilfenahme der Routinen des HV-Kontroll-Programms eine Methode zum automatisierten Hochrampen der GEM-Spannungen entwickelt werden.

Im zweiten Teil der Arbeit konnte gezeigt werden, daß mit den seit März 2000 verwendeten Einstellungen der Hochspannungswerte, Daten mit guter Qualität erhalten werden können. Die Datenverarbeitung fand dabei in der allgemeinen HERA-*B*-Umgebung zur Analyse (ARTE) statt.

Der Vergleich zweier verschiedenen Shapings des Helix-Pulses konnten die Notwendigkeit für das schnelle Shaping belegen und zeigen, daß dies kein Verlust an Kammersignalen bedeutet.

Außerdem konnte gezeigt werden, daß eine Erhöhung der Kathoden- oder der GEM-Spannung jeweils zu einem besseren Verhältnis von Signal zu Rauschen führt, so daß diese Parameter weiter angepaßt werden können, sobald der Algorithmus zur besseren Rauschunterdrückung verwendet werden kann.

Durch die Untersuchung wurde eine Methode bereitgestellt, die beim weiteren Optimieren der Datenverarbeitung und der veränderbaren Parameter des Systems eine große Hilfestellung geben kann, so daß zusätzlich zur direkten Überwachung der Datenqualität durch das Monitoring Informationen über Teilchenspuren durch das System der Inneren Spurkammern gewonnen werden können.

Anhand der entwickelten Methode wird der nächste Schritt in der Analyse der Daten des Inneren Spurkammersystems darin bestehen, unter Zuhilfenahme des neuen Algorithmus zur besseren Rauschunterdrückung eine weitere Evaluierung der unterschiedlichen GEM- und Kathodenspannungen vorzunehmen.

Anhang A

Anhang

A.1 Beispiel einer Konfigurationsdatei

Jeder Parameter-Kontroll-Prozeß der Slow-Control hat zwei Konfigurations-Dateien. In Abbildung A.1 ist als Beispiel ein Teil der Datei der Konfigurations-Parameter (kurz: config-file) für den HV-Steuerungs-Prozeß abgebildet. In der ersten Spalte ist der Kanalname gespeichert. Aus dem Kanalnamen ist abzulesen, welche Spurkammer im Detektor angesprochen wird: `it/hvps/d10/1` deutet auf die Hochspannungsversorgung des Inneren Spurkammersystems für die Driftelektrode des Kammerpaketes 10 hin.

- `it`: Inneres Spurkammersystem (Inner Tracker)
- `hvps`: Hochspannungsversorgung (englisch:High Voltage Power Supply)
- `d10`: Die Driftelektrode des Kammerpaketes 10.
- `1`: Der HV-Eingang an der Strommeßbox

Die nächsten beiden Spalten spezifizieren die Hardware-Adresse des Kanals, denen die Kanalnummer zugewiesen wird. Somit kann die Hochspannung über den Kanalnamen bedient werden und der Benutzer muß nicht über die Hardware-Verbindung informiert sein. Außer der Kanalnummer sind die CAN-Adressen der Strommeßbox, die von dem entsprechenden Kanal die Spannung geliefert bekommt (`Box-ID HVcur`), und die dort angeschlossene GEM-Verteilerbox (`Box-ID GEM`) angegeben. In den weiteren Spalten sind Konfigurations-Paramter des CAEN-Gerätes beziehungsweise die verschiedenen Spannungszustände aufgelistet, die für das langsame Hochfahren der Kammer-Spannungen benötigt werden (`VD1, VK1, VK2, VK3, VK4, VD2`). Außerdem sind Grenzwerte für Strom und Spannung angegeben (`I0, Vmax`). Die Bedeutung von RampUp-, RampDown- und Trip-Werten wurde in Abschnitt 4.2.1 erläutert.

Channel	Vmeaddr	Hardch	On	V0 V	I0 uA	Vmax V	Rup V/s	Rd V/s	Trip s	VD1 V	VK1 V	VK2 V	VK3 V	VK4 V	VD2 V	BoxID HVcur	BoxID GEM
it/hvps/d10/1	0x0e00000	10208	1	2400	1000	2400	45	50	0	1000	1000	2000	2000	2000	2200	10	22
it/hvps/d10/2	0x0e00000	10402	1	2400	1000	2400	45	50	0	1000	1000	2000	2000	2000	2200	1	31
it/hvps/d10/3	0x0e00000	10210	1	2400	1000	2400	45	50	0	1000	1000	2000	2000	2000	2200	5	4
it/hvps/d10/4	0x0e00000	10211	1	2400	1000	2400	45	50	0	1000	1000	2000	2000	2000	2200	20	30
it/hvps/d10/5	0x0e00000	10311	1	2400	1000	2400	45	90	0	500	500	1200	1200	2000	2200	18	1
it/hvps/d10/6	0x0e00000	10401	1	2400	1000	2400	45	90	0	1000	1000	2000	2000	2000	2200	17	15
it/hvps/d10/7	0x0e00000	10310	1	2400	1000	2400	45	90	0	1000	1000	2000	2000	2000	2200	30	29
it/hvps/d10/8	0x0e00000	10400	1	2400	1000	2400	45	90	0	1000	1000	2000	2000	2000	2200	28	25
it/hvps/k10/1	0x0e00000	10008	1	490	500	490	15	30	0	20	250	400	450	490	490	10	22
it/hvps/k10/2	0x0e00000	10009	1	490	500	490	15	30	0	20	250	400	450	490	490	1	31
it/hvps/k10/3	0x0e00000	10010	1	490	500	490	15	30	0	20	250	400	450	490	490	5	4
it/hvps/k10/4	0x0e00000	10011	1	490	500	490	15	30	0	20	250	400	450	490	490	20	24
it/hvps/k10/5	0x0e00000	10107	1	490	500	490	15	30	0	20	250	400	450	490	490	18	1
it/hvps/k10/6	0x0e00000	10109	1	490	500	490	15	30	0	20	250	400	450	490	490	17	15
it/hvps/k10/7	0x0e00000	10106	1	490	500	490	15	30	0	20	250	400	450	490	490	30	29
it/hvps/k10/8	0x0e00000	10108	1	490	500	490	15	30	0	20	250	400	450	490	490	28	25
it/hvps/d13/1	0x0e00000	10304	1	2400	1000	2400	45	90	0	1000	1000	2000	2000	2000	2200	26	10
it/hvps/d13/2	0x0e00000	10305	1	2400	1000	2400	45	90	0	1000	1000	2000	2000	2000	2200	16	14
it/hvps/d13/3	0x0e00000	10306	1	2400	1000	2400	45	90	0	1000	1000	2000	2000	2000	2200	8	3
it/hvps/d13/4	0x0e00000	10307	1	2400	1000	2400	45	90	0	1000	1000	2000	2000	2000	2200	6	9
it/hvps/d13/7	0x0e00000	10309	1	2400	1000	2400	45	90	0	1000	1000	2000	2000	2000	2200	11	30
it/hvps/k13/1	0x0e00000	10100	1	490	500	490	15	30	0	20	250	400	450	490	490	26	10
it/hvps/k13/2	0x0e00000	10101	1	490	500	490	15	30	0	20	250	400	450	490	490	16	14
it/hvps/k13/3	0x0e00000	10102	1	490	500	490	15	30	0	20	250	400	450	490	490	8	3
it/hvps/k13/4	0x0e00000	10103	1	490	500	490	15	30	0	20	250	400	450	490	490	6	9
it/hvps/k13/7	0x0e00000	10105	1	490	500	490	15	30	0	20	250	400	450	490	490	11	30

Tabelle A.1: Die Tabelle zeigt ein verkürztes Beispiel einer Konfigurationsdatei. Im März 2000 waren 54 Hochspannungskanäle in Betrieb, die Konfigurations-Datei besteht also eigentlich aus 54 Zeilen. In der ersten Spalte wird der Kanalname spezifiziert, über den die Hochspannungsversorgung angesprochen wird. Die folgenden zwei Spalten geben die Hardware-Adressen des entsprechenden Kanals wieder, wobei die VME-Adresse die Adresse der A200 Karte ist und sich die Variable "Hardch" folgendermaßen zusammensetzt: Die erste Zahl, hier die 1 bezeichnet den Typ des Hochspannungsversorgungsgerätes (für die Inneren Spurkammern SY527), die nächsten beiden Zahlen adressieren das Modul und die letzten beiden den Ausgangskanal des Moduls. Die nächsten Spalten bis zur Variablen "Trip" werden von dem Hochspannungs-Kontroll-Prozeß in die Hardware geschrieben und dienen der Steuerung des spezifizierten Kanals mit der gegebenen Hardware-Adresse. Eine Beschreibung der Parameter findet sich in 4.2.1. Die Parameter VD1 bis VD2 werden zum Hochfahren der Spannungen in verschieden Schritten benötigt, wobei VD einen Schritt in der Driftelektrodenspannung und VK in der Kathodenspannung bedeutet. Die letzten beiden Spalten enthalten die CAN-Adressen der Strommeß- beziehungsweise der GEM-Verteilerbox, die mit dem Hochspannungskanal verbunden sind.

A.2 Bedienung der graphischen Benutzerschnittstelle

Mit Hilfe der graphischen Benutzerschnittstellen (GUI) können die Prozesse der Slow-Control gesteuert werden. Das GUI für die HV-Kontrolle ist in nocheinmal in Abbildung A.1 zu sehen. In diesem Abschnitt findet sich ein Beschreibung der Knöpfe des GUIs. Alle anderen GUIs der Slow-Control sind prinzipiell gleich aufgebaut.

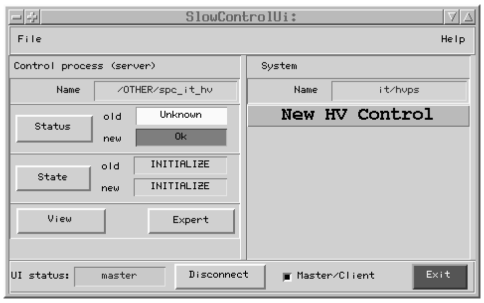


Abbildung A.1: Die graphische Benutzer-Schnittstelle für die HV-Kontrolle. Eine Einführung zu den graphischen Benutzer-schnittstellen ist in 5.1 gegeben.

Connect/Disconnect Durch Drücken dieses Knopfes wird die Verbindung zwischen dem GUI, das unter LINUX läuft, und dem laufenden Prozeß *spc_it_hv* unter VME hergestellt bzw. unterbrochen. Im abgebildeten Fall ist das GUI bereits verbunden; diese Verbindung wird durch Drücken des "Disconnect"-Knopfes unterbrochen.

Exit Die graphische Benutzerschnittstelle wird geschlossen. Der VME-Prozeß läuft weiter.

Status Mit diesem Knopf kann der Status des Systems abgefragt werden. In einem Fenster werden alle Kanäle mit fehlerhaftem Zustand angezeigt. Die zwei Felder neben dem Knopf zeigen den Gesamt-Status des Systems. Sind alle Parameter innerhalb ihrer normalen Grenzen, dann ist der Status "ok". Das Feld ist grün. Befindet sich ein Parameter außerhalb seiner Warnungs- oder Alarmgrenzen, wechselt der Status auf "Warnung" (Feld ist gelb) oder "Alarm" (Feld ist rot). Ist ein Fehler aufgetreten, zum Beispiel wenn die letzte Nachricht der Strommeßbox schon zu lange her ist, wechselt der Status nach "Error". Dieser wird weiß angezeigt. Der aktuelle Wert ist in dem Feld "new" zu sehen; im Feld "old" kann nachvollzogen werden, wie der letzte Status war. Im obigen Fall ist der letzte Status des Systems nicht bekannt ("Unknown").

State "State" zeigt den Zustand des Systems an, der einem Zustand der Zustandsmaschine (SMC) entspricht. Per Mausklick auf "State" erhält der Benutzer ein Menü und kann zwischen "Check" (forciertes Auslesen des tatsächlichen Zustandes) und "Change to" wählen. Unter "Change to" sind dann alle möglichen Übergänge zu sehen und können angeklickt werden, siehe dazu Abbildung A.2.

In dem Feld "new" erscheint der neu angewählte Zustand. Haben die beiden Felder "old" und "new" nicht den gleichen Inhalt, so befindet sich der Prozeß in einem Zustandsübergang. In der neuen Version des HV-Control Programmes kann auch

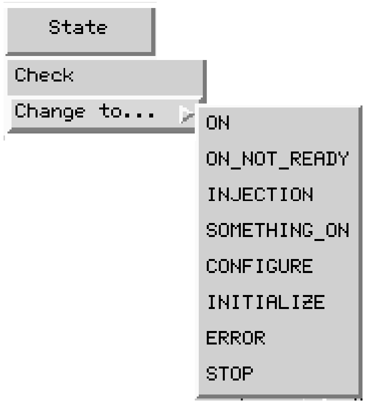


Abbildung A.2: Über den Knopf "State" "Change to" können Zustandsänderungen befohlen werden. Es erscheinen zwar die Zustände **ON_NOT_READY**, **SOMETHING_ON** und **ERROR**, sie können aber nicht vom Benutzer angewählt werden. Auf dem GUI sollen sie zeigen, daß ein Übergang des Systems in diesen Zustand möglich ist.

während eines Übergangs eingegriffen werden und ein neuer Übergang forciert werden. Damit hat der Benutzer immer die Möglichkeit, den Prozeß zu steuern.

View Durch Klick auf den "View"-Knopf erhält der Benutzer eine tabellarische Übersicht über alle derzeit benutzten Kanäle (siehe Abbildung A.3. Hier wird die momentane Spannung und der Stromwert des Kanals angezeigt. Zu beachten ist, daß die Spannung durch die Strommeßboxen auf 8 Ausgänge verteilt wird; der Strom des CAEN-Gerätes, der hier angezeigt wird, ist also die Summe der Ströme dieser 8 Ausgangskanäle. Er kann nur als Richtwert dienen; die tatsächlichen Kammerströme werden mit dem HVcur-Prozeß gemessen.

Expert Ein Menü erscheint mit verschiedenen Anwendungen:

- **Config** Hier kann der Benutzer sich für alle Kanäle verschiedene Konfigurations-Parameter anzeigen lassen und auch verändern. Dies sind nicht die ausgelesenen Werte, sondern die Werte, die der Prozeß an die Hardware übermittelt hat, bzw. die in der Datenbank stehen.
- **Monitor** Die tatsächlich ausgelesenen Werte für Strom und Spannung werden angezeigt. Außerdem können die Grenzwerte für Alarm und Warnung eingesehen und verändert werden.
- **Status** Der Status der einzelnen Kanäle wird angezeigt.
- **Info** Die Hardware-Adressen der einzelnen Kanäle werden angezeigt.
- **Reset** Löst ein Reset des CAEN-Gerätes aus. Es können einzelne Kanäle angesprochen werden.

Master/Client Ist das GUI als "Master" angemeldet, kann wie oben beschrieben aktiv in den Prozeß eingegriffen werden. Zum Beispiel kann eine Änderung des Zustandes

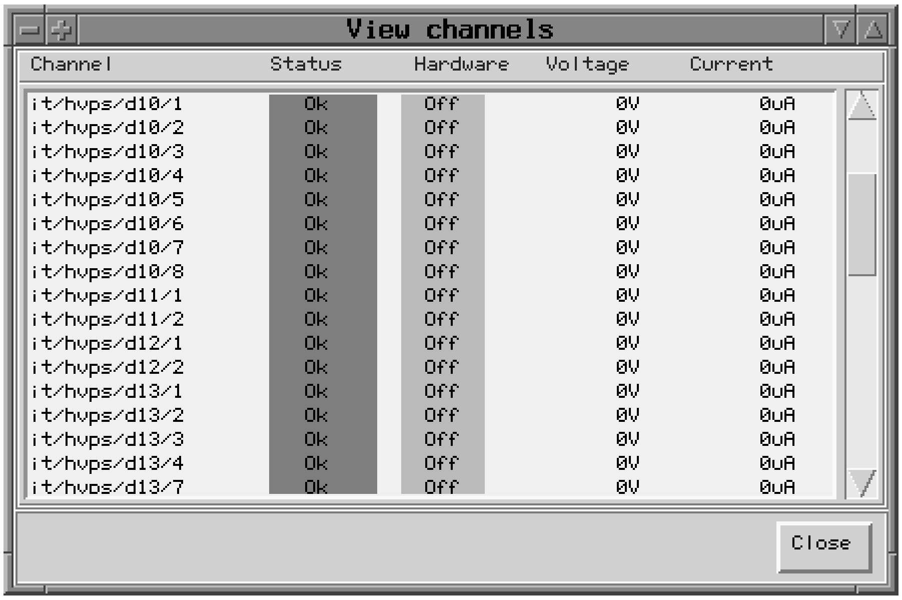


Abbildung A.3: Über den Knopf "View" können die Kanäle des Prozesses angezeigt werden. Dabei wird der Status, der Zustand, die Hochspannung und der Strom des CAEN-Kanals angezeigt. Der Kanalname entspricht dem der Konfigurationsdateien.

hervorgerufen werden. Nur eine bestimmte Anzahl von "Master"-GUIs kann auf einen Prozeß zugreifen. Derzeit ist für das Innere Spurkammersystem diese Zahl auf eins gesetzt. Allerdings kann man sich immer als "Client" anmelden. Das GUI hat dann nur eine beobachtende Funktion, es können keine Parameter verändert werden.

A.3 Graphisch dargestellte Ereignisse

Mit dem Analyse-Programm ARTE, das für die vorliegende Analyse verwendet wurde, können einzelne Ereignisse visualisiert werden und in diesem Kapitel sollen einige Ereignisse graphisch vorgestellt werden, wobei das Programmpaket PRISM [20] zur Erstellung der Abbildungen benutzt wurde. Die Clusterfindung und die Spurfindung wurde mit den in Kapitel 6.1.2 und 6.1.3 beschriebenen Algorithmen gemacht.

Die folgenden Abbildungen zeigen einige typische Ereignisse der Station MS13, wobei zu beachten ist, daß der Spurfinde-Algorithmus nur in dem Sektor MS13−+ eingeschaltet war. Es wurde der Run 14462 verwendet, bei dem folgende Spannungen anlagen:
$U_{\mathrm{drift}} = -2400$ V,
$U_{\mathrm{kath}} = -490$ V,
$U_{\mathrm{GEM}} = 420$ V,
schnelles Shaping.

In den PRISM-Bildern sind die MSGC-Kammern aller Sektoren eingezeichnet. Allerdings sind in den zweidimensionalen Abbildungen die Plus-Y und die Minus-Y Seiten aufeinander projeziert, deshalb sind 16 Striche zu sehen, von denen aber nicht alle eine Kammer der MS13−+ enthalten. In Abbildung A.4 sind die Kammern der MS13−+ dick markiert und mit der Orientierung der Lage beschriftet. In den zweidimensionalen Bildern zeigt die obere Hälfte die Halbstation MS13+, entsprechend wurden dort keine Spuren gesucht.

Weiterhin ist zu bedenken, daß für die Abbildungen des Detektors in der X-Z-Ebene die Plus- und die Minus-X-Seiten der Station in der Projektion gezeigt sind. Das heißt, daß auf diesen Bildern nicht per Auge entschieden werden kann, ob eine Spur durch die Hits gelegt werden kann. Dafür kann die Darstellung, in der die gesamte Station MS13 dreidimensional aufgezeichnet ist, verwendet werden.

Die grünen Kreise markieren den Ort eines gefundenen Clusters auf den 0°-Lagen. In der dreidimensionalen Darstellung sind die Anodendrähte, die einen Hit gesehen haben, grün eingezeichnet. Mit blauen Kreuzen sind jeweils die Hits markiert, die auf einer blau eingezeichneten Spur liegen.

In der dreidimensionalen Abbildung ist gut zu erkennen, wie die Stereolagen im Vergleich zu den 0°-Lagen gedreht sind.

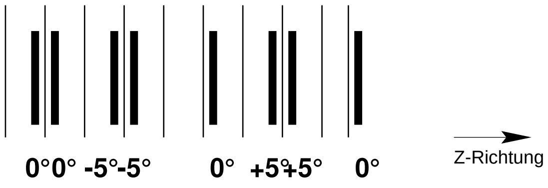


Abbildung A.4: Die dicken Balken in der Abbildung zeigen, auf welchen Tragestrukturen der MS13 Kammern des Sektors MS13−+ befestigt sind. Nur für diesen Sektor wurden Spuren gesucht.

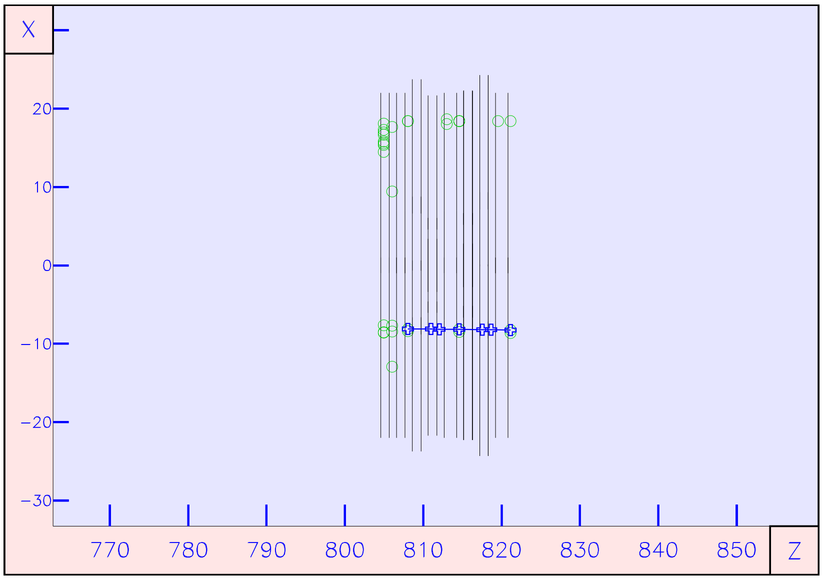


Abbildung A.5: Die Abbildung zeigt das Ereignis 148, bei dem eine Spur durch den Sektor MS13−+ gefunden wurde. Die Richtung des Protonen-Strahls geht nach +Z. Die Skalen sind in Zentimetern angegeben.

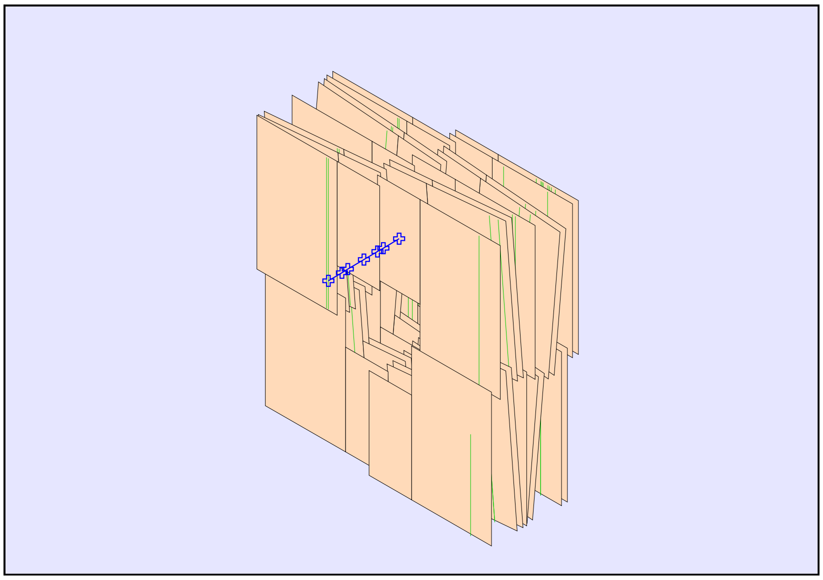


Abbildung A.6: Dasselbe Ereignis 148 in der dreidimensionalen Darstellung. Hier ist die gedrehte Struktur der Stereolagen gut zu erkennen.

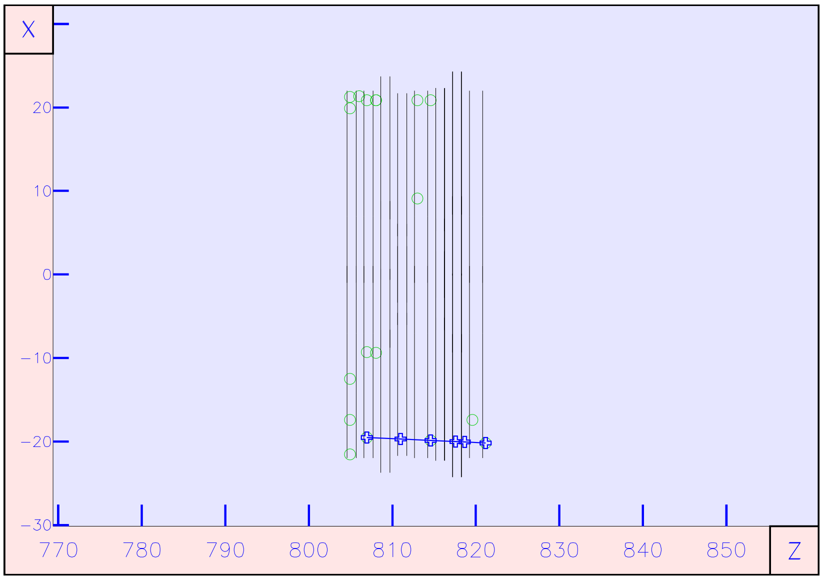


Abbildung A.7: Die Abbildung zeigt das Ereignis 149, bei dem ebenfalls eine Spur durch den Sektor MS13–+ gefunden wurde.

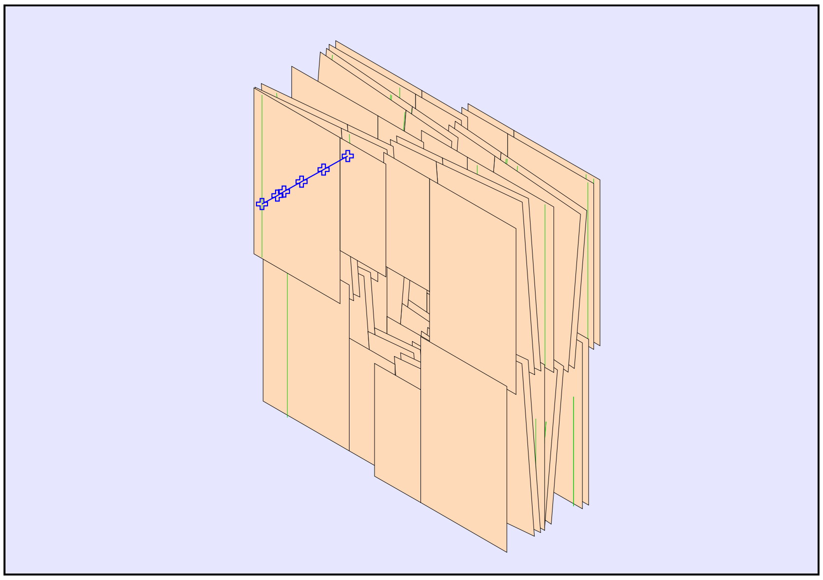


Abbildung A.8: Dasselbe Ereignis 149 in der dreidimensionalen Darstellung.

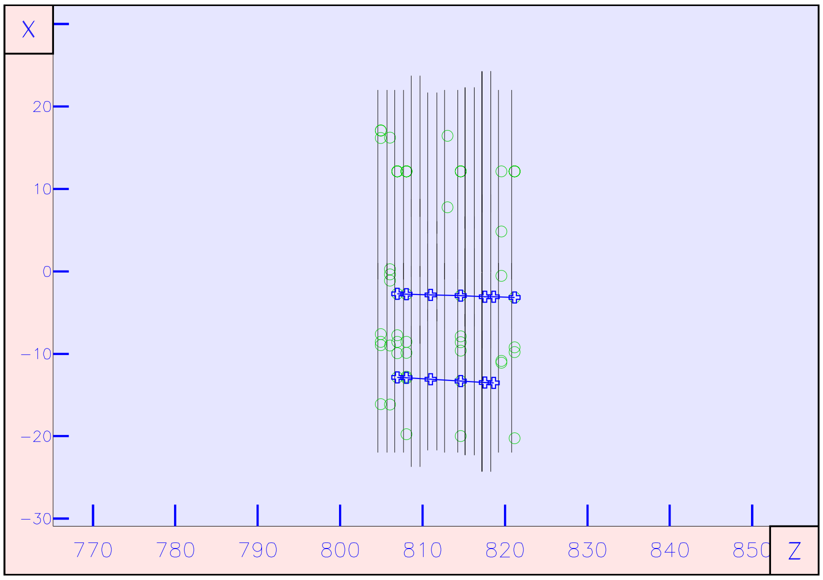


Abbildung A.9: Die Abbildung zeigt das Ereignis 162, bei dem zwei Spuren durch den Sektor MS13–+ gefunden wurde.

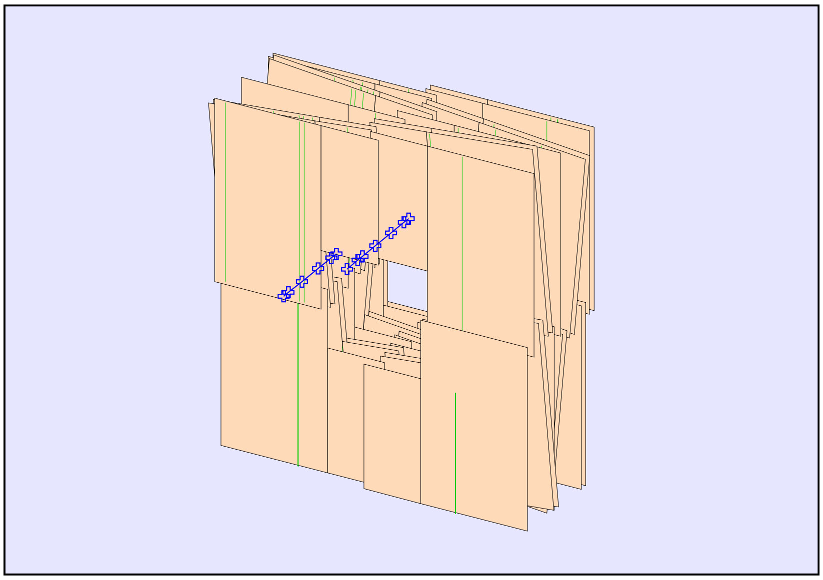


Abbildung A.10: Dasselbe Ereignis 162 in der dreidimensionalen Darstellung.

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

[1] ARTE,
http://www-hera-b.desy.de/subgroup/software/#ARTE

[2] Verena Buchholz, *Monitoring für das Innere Spurkammersystem von HERA*-B ,
Diplomarbeit, Heidelberg, Februar 2000

[3] CAEN SY527, *Technical Information Manual*,
1995, http://www.caen.it

[4] SY527 High Voltage Boards, *Technical Information Manual*,
1995, http://www.caen.it

[5] Christenson, Cronin, Fitch, Turlay, *PRL* **13**, *183*, 1964

[6] Mogens Dam, *Second and Third Level Trigger Systems for the HERA*-B *Experiment*, 1998 Talk at CHEP, HERA-*B* internal note

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

[8] Hans-Bernd Dreis, *Persönliche Mitteilung*

[9] Franz Eisele, *Persönliche Mitteilung*

[10] Martin Gerlowski, *Die Slow Control* des *HERA*-B *Inner Trackers und Auswertung von Testmessungen mit kompletter Auslesekette*,
Diplomarbeit, Heidelberg, Januar 1999

[11] Wolfgang Gradl, *persönliche Mitteilung*

[12] Sebastian Hausmann, *persönliche Mitteilung*

[13] Sebastian Hausmann, *Das Auslesesystem der Inneren Spurkammern bei HERA*-B
,
Dissertation, Universität Heidelberg, 1999

[14] Siegfried Hennenberger, *Technische Zeichnungen*, September 1998,
http://www.physi.uni-heidelberg.de/groups/herab/internal/pictures/HE-ITR-0000-B75.ps

[15] Malte Hildebrandt, *Entwicklung und Bau der Detektoren für das Innere Spurkammersystem bei HERA*-B ,
Dissertation, Universität Heidelberg, 1999

[16] Thomas Kihm, *Table Based Data Base*,
http://ftp.desy.de/pub/herab/daq/DBdocu.ps

[17] Stefan Keller, *Doktorarbeit in Vorbereitung*,
Universität Siegen, April 2000

[18] Carsten Krauss, *persönliche Mitteilung*

[19] Alexander Maklyaev, *HbDisplay2*,
April 2000, http://www.desy.de/m̃aklyaev/HbDisplay2

[20] Rainer Mankel, *prism- the HERA-*B *Event Display and its Tkl/Tk User Interface*,
Mai 1997, http://www-herab.desy.de/subgroup/software/arte/prism/prism.ps.gz

[21] Georg Leffers, *Manual for the HERA-*B *data base editor*,
http://ftp.desy.de/pub/herab/daq/dbedit.ps

[22] Otto Nachtmann, *Elementarteilchenphysik, Phänomene und Konzepte*,
1992, Verlag Viehweg

[23] John K. Ousterhout, *Tcl und Tk*,
1995, Addison Wesley

[24] Particle Data Group, *Review of Particle Physics*,
European Physical Journal **C3**, 1 (1998)

[25] Donald H. Perkins, *Hochenergiephysik*,
1991, Addison-Wesley

[26] Bogdan Povh et al., *Teilchen und Kerne*,
1993, Springer Verlag

[27] HERA-*B* Proposal, *An Experiment to Study CP Violation in the B System Using an Internal Target at the HERA Proton Ring*,
Mai 1994

[28] ranger, *A Pattern Recognition Tool for the HERA-*B *Min Tracking System*,
Februar 1997, http://www-hera-b.desy.de/subgroup/software/arte/ranger

[29] Dominik Ressing, *Slow Control State Diagram*
Juli 1999, http://www-hera-b.desy.de/subgroup/daq/slowStates.html

[39] Carola Richter, *Sparkerkennung durch die GEM-Verteiler-Box (A339)*
August 1999, http://www.physi.uni-heidelberg/groups/herab/text/GemVB3.ps

[40] Carola Richter, *Plot of Gain versus* $U_{\rm kath}$ *and* $U_{\rm GEM}$
http://www.desy.de/h̃bitr/running/gainvsUc/gainvsUc.eps.gz

[41] M. Medinnis et al, *Proposal for a HERA-*B *Message Handler Interface* ,
Juni 1998

[42] Vladimir Rybnikov, *The State Machine Control Package for the HERA-*B *Run Control System*,
http://ftp.desy.de/pub/herab/daq/smc.ps, Mai 1999

[43] Bran Selic, Garth Gullekson, Paul T. Ward, *Real-time Object-oriented Modeling*, John Wiley, 1994

[44] Michael Symalla, *Vorbereitende Untersuchungen zur Bestimmung der Wechselwirkungsraten und deren Zeitstruktur an einem Drahttarget mit Hilfe der Energieinformation des HERA*-B *elektromagnetischen Kalorimeter*, Diplomarbeit, März 1999, Universität Dortmund

[45] Ulrich Uwer, *Hera-B Slow Control System, Talk given at the LHC Joint Control*, http://www-hera-b.desy.de/subgroup/slowctrl/cern.ps, 1998

[46] Ulrich Uwer, Alexey Zhelezov, *Hera-B Slow Control Software: SPC system programmers guide, Internal structure*, April 1998, http://www-hera-b.desy.de/subgroup/slowctrl/papiers/spc_usage.ps,

[47] Wade D. Peterson, *The VMEbus Handbook*, VMEbus International Trade Association, 4^{th} Edition, 1997

[48] Peter von Walter, *A339 2*8 Kanal HV Current Meter*, Februar 2000, http://www.physi.uni-heidelberg.de/~vwalter/Geraete/A339_Current_Meter

[49] Peter von Walter, *A344 GEM-Verteiler-Box*, Februar 2000, http://www.physi.uni-heidelberg.de/~vwalter/Geraete/A344_GEM-Verteiler

[50] Peter von Walter, *persönliche Mitteilung,* März 2000

[51] Michael Walter, *Diplomarbeit in Vorbereitung*, Heidelberg, März 2000

[52] Torsten Zeuner, *persönliche Mitteilung*

[53] Alexey Zhelezov, *persönliche Mitteilung*

[54] Alexey Zhelezov, Ulrich Uwer *Towards a HERA*-B *Slow Control System*, August 1997, http://www-herab.desy.de/subgroup/slowctrl/papiers/paractrl.ps

Danksagung

Herrn Professor Franz Eisele möchte ich für seine Betreuung und die Möglichkeit danken, meine Diplomarbeit in so anregender Umgebung am DESY durchführen zu können. Ich konnte von ihm und seiner Arbeitsgruppe sehr viel dazulernen.

Vielen Dank an Herrn DeKieviet für die Übernahme der Zweitkorrektur

Der ganzen Arbeitsgruppe der Inneren Spurkammern möchte ich für die schöne Zeit und die gute Atmosphäre danken und für die vielen Fragen, die geduldig beantwortet wurden: Hans-Bernd, Thomas, Verena, Sonja, Stefan, Torsten, Arnd und Dirk.

Insbesondere möchte ich erwähnen:

Sebastian Hausmann für die Einführung in manch Geheimnis der Slow-Control und der Hardware.

Wolfgang Gradl und Carsten Krauss für die Einführung in die Analyse und tatkräfige Unterstützung in manchem Kampf.

Meiner Familie möchte ich danken, weil sie mir das Studium ermöglicht und in der Not immer geholfen hat.

Und meinen Freunden danke ich, die mir so lieb beigestanden haben. Ganz besonders danke ich Till und Jutta.

Erklärung:

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

Hamburg, den 25.April 2000

....
(Unterschrift)