

Interner Bericht
DESY F35D-92-06
Dezember 1992

Verifikation der ersten Meßdaten des ZEUS-Detektors

von

M. Bender

Eigentum der	DESY	Bibliothek
Property of		library
Zugang:	02.FEB. 1993	
Accessions:		
Leihfrist:	7	Tage
Loan period:		days

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

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

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

Verifikation der ersten Meßdaten des ZEUS-Detektors

Diplomarbeit am Fachbereich Physik
der Universität Hamburg

Michael Bender 

Dezember 1992

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1	8.3.1	Myonen	52
2	Der ZEUS-Detektor	3	8.4	Vergleich der Messungen mit den simulierten Daten	54
3	Datenauslese	5	8.5	Ergebnisse	54
4	Offline Datenverarbeitung	7	9	Zusammenfassung	57
4.1	MOZART	7	A	Das Data-Validation-Programm	59
4.2	ZEPHYR	7	A.1	Programmstruktur	59
4.3	EAZE	8	A.2	Rohdaten	60
5	EAZE	9	A.2.1	Zellen-Nummer	60
5.1	Ereignisdaten und ADAMO	9	A.2.2	Auspacken der Energie und Zeit	61
5.2	Bedienung von EAZE	10	A.2.3	Kalorimetergeometrie	61
5.3	Programmstruktur von EAZE	11	A.2.4	CisBad	61
5.4	Bandnamen lesen	12	A.3	PAW-Makro	62
5.5	Bänder dynamisch zuordnen	13	A.4	Zugriff auf einzelne Histogramm-Bins	62
6	Das zentrale Kalorimeter	15	B	EAZE-JOB	65
6.1	Aufbau des Kalorimeters	15	C	VSAM-Cluster	69
6.2	Auslese des Kalorimeters	17			
7	Testergebnisse	23			
7.1	Rauschen	24			
7.1.1	Uranrauschen	24			
7.1.2	Histogramme	25			
7.2	Asymmetrie	29			
7.3	Sparks	29			
7.4	Das Zeit-Signal	35			
7.4.1	Zeitauslese	35			
7.4.2	Timing von Ereignissen	38			
7.5	Energiespektren	42			
7.5.1	Gesamtenergie	42			
7.5.2	Transversalenergie und fehlende Transversalenergie	42			
7.5.3	Winkelverteilung	42			
8	Strahl-Gas-Wechselwirkungen	47			
8.1	Monte Carlo Daten	48			
8.2	DAY1 - Trigger	48			
8.2.1	Simulation des DAY1-Triggers	50			
8.3	Rohdaten	52			

Kapitel 1

Einleitung

Im Laufe des Jahres 1992 hat der HERA-Beschleuniger seine ersten Bewährungsproben erfolgreich bestanden. Während zwei mehrmonatigen Meßperioden im Sommer und Herbst 1992 hat HERA eine Luminosität von über $10^{28} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ zur Verfügung gestellt. Diese Luminosität wurde von je 10 Elektronen- und Protonenpaketen mit einer Energie von 26,7 GeV bzw. 820 GeV erzeugt. Bei Testläufen konnte aber bereits ein stabiler Betrieb mit 160 Protonen- bzw. 36 Elektronenpaketen erreicht werden. HERA wurde zur Beschleunigung von je 210 Teilchenpaketen konstruiert.

Die beiden Experimente H1 und ZEUS haben 1992 erstmals eine große Zahl von Elektron-Proton-Reaktionen beobachtet. Der ZEUS-Detektor hat während der insgesamt knapp viermonatigen Meßzeit einige 10^6 Ereignisse aufgezeichnet. Davon stammen mehrere Tausend aus Elektron-Proton-Stößen, der Rest ist Untergrund. Aufgrund dieser Daten konnten bereits erste Ergebnisse veröffentlicht werden.

Trotz der kurzen Meßzeit und der geringen Luminosität von $10^{28} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Ziel sind $10^{31} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) sind bereits gewaltige Datenmengen angefallen. Diese Daten müssen zum einen ständig auf ihre Qualität überprüft werden, zum anderen muß, als Vorstufe zur physikalischen Analyse, eine Rekonstruktion der Ereignisse aus den einzelnen Messungen des Detektors durchgeführt werden. Das erfordert eine große Rechenleistung und – wegen des angestrebten nahezu ununterbrochenen Betriebes – eine fast vollständige Automation aller Abläufe.

Der ZEUS-Detektor ist ein sehr komplexes Meßgerät, das aus einer großen Anzahl von Komponenten besteht. Fast die ganze technische Ausstattung des Detektors ist speziell für ZEUS entwickelt worden und wurde 1992 das erste Mal unter realen Bedingungen eingesetzt. Um die Schwierigkeiten, vor allem in der Zusammenarbeit der vielen Komponenten, beheben zu können, wurde eine Offline-Überwachung eingerichtet, die auf die bereits gespeicherten Daten zugreift. Sie ergänzt die Online-Kontrollen, die die einzelnen Geräte während der Arbeit überwachen. Zum Beispiel müssen die 5917 Zellen des Kalorimeters laufend auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft werden. Dies geschieht durch die Erstellung einer Reihe von Prüfdiagrammen, die laufend und in flexibler Weise verfügbar sein müssen.

Diese Arbeit besteht aus drei Teilen. Zuerst wird die Erweiterung des ZEUS-Datenanalyse-Programms EAZE beschrieben, die notwendig war, um die Datenüberwachung weitgehend automatisch durchführen zu können. Danach werden die Diagramme beschrieben, die das Datenüberwachungsprogramm für das Kalorimeter erzeugt. Schließlich wird anhand dieser Diagramme untersucht, wie gut die Simulation des Strahl-Gas-Untergrundes mit den gemessenen Daten übereinstimmt.

Kapitel 3

Datenauslese

Im ZEUS-Detektor kollidiert alle 96 ns ein 820 GeV Protonenpaket mit einem 30 GeV Elektronenpaket. Der Detektor muß zwei aufeinanderfolgende Ereignisse auslesen können, wenn keine Informationen verlorengehen sollen. Das entspricht kurzzeitig einer Frequenz von ca. 10 MHz. Die erwarteten Raten liegen weit unter 10 MHz, die Untergrundrate beträgt etwa 100 kHz, die Rate physikalisch interessanter Ereignisse einige Hz. Das Auslesesystem muß die Ereignisse finden, für die der Detektor angesprochen hat, und bereits möglichst viel Untergrund herausfiltern. Die Detektorauslese ist auf 5–10 Hz ausgelegt, so daß alle physikalischen Ereignisse aufgezeichnet werden können. Die Ereignisrate einschließlich Untergrund muß auf unter 10 Hz gesenkt werden, da größere Datenmengen aus technischen Gründen nicht gespeichert werden können.

Das Auslesesystem besteht aus drei Stufen, die als First-, Second- und Third-Level-Trigger bezeichnet werden. Der First-Level-Trigger (FLT) muß die vollen 10 MHz verkraften und führt deshalb nur einige einfache Filterentscheidungen durch, ist aber sehr schnell. Er senkt die Rate auf unter 10 kHz; das ist gleichzeitig die Eingangsrate für den Second-Level-Trigger (SLT). Der SLT hat mehr Zeit für eine Triggerentscheidung als der FLT und kann daher schon eine Reihe physikalischer Größen berechnen. Er reduziert die Rate auf unter 100 Hz. In der letzten Triggerstufe (TLT) wird eine Teilrekonstruktion der Ereignisse durchgeführt und die Rate auf ca. 5 Hz gesenkt. Mit dieser Frequenz werden die Daten über ein Glasfaserkabel auf den DESY-Zentralrechner übertragen und schließlich auf Bändern gespeichert. Das ZEUS Triggersystem wird in [SMI90] ausführlich beschrieben.

First Level Trigger Es ist unmöglich, eine Triggerentscheidung in einigen Nanosekunden zu treffen.

Deshalb schreibt jede Komponente ihre Daten in eine Pipeline, wo sie ca. 5 μ s zwischengespeichert werden. Gleichzeitig werden die Daten in dem jeweiligen Komponenten-FLT analysiert. Die Ergebnisse aller Komponenten werden im Global First Level Trigger zusammengefaßt und zu einer Triggerentscheidung verarbeitet. Wenn diese Entscheidung positiv war, werden die Daten, immer noch für jede Komponente einzeln, in den Buffer des SLT geschrieben. Wenn das Ereignis verworfen wurde, werden alle Daten gelöscht. Aus Zeitgründen kann der FLT nur einige einfache Entscheidungen treffen. Während der Juli-Runs 1992 wurde lediglich geprüft, ob die Energie in verschiedenen Kalorimeter-Bereichen über einem vorgegebenen Schwellenwert lag. Die Ergebnisse einer Stufe werden jeweils an die folgende weitergereicht.

Second Level Trigger Der SLT ist ähnlich wie der FLT organisiert. Die Daten werden komponentenweise bearbeitet und schließlich im Global Second Level Trigger zu einer Entscheidung zusammengeführt. Während dieser Zeit werden die Daten in einem Buffer gespeichert. Der SLT kann bereits einige physikalische Größen ausrechnen und z. B. nach Energie-Clustern suchen.

Eventbuilder Im Eventbuilder werden erstmals die Daten aller Komponenten zusammengefaßt. Das Ereignis erhält hier sein endgültiges Format, in dem es auch auf Band gespeichert wird; Entscheidungen werden nicht getroffen.

Third Level Trigger Während FLT und SLT aus Prozessorkarten bestehen, die beim Detektor untergebracht sind, besteht der TLT aus einer Rechnerfarm von SGI-Workstations, die insgesamt eine Rechenleistung von ca. 1000 Mips haben. Im TLT werden die Ereignisse bereits teilweise rekonstruiert, d.h. es werden Teilchenspuren gesucht und die Vertices bestimmt.

Die vom TLT selektierten Ereignisse werden zur IBM gesendet, um dort auf Bändern gespeichert zu werden. Gleichzeitig können sie im Kontrollraum auf Workstations dargestellt und beobachtet werden. Die einzelnen Stufen des Auslesesystems werden von Equipment-Computern überwacht, die die Arbeitsweise der verschiedenen Trigger-Komponenten verfolgen und aufzeichnen. Die Abbildung 3.1 zeigt eine Übersicht der Datenauslese.

Alle Stufen, die die Daten durchlaufen, bis sie schließlich auf Bändern gespeichert sind, gehören zur Online-Datenverarbeitung.

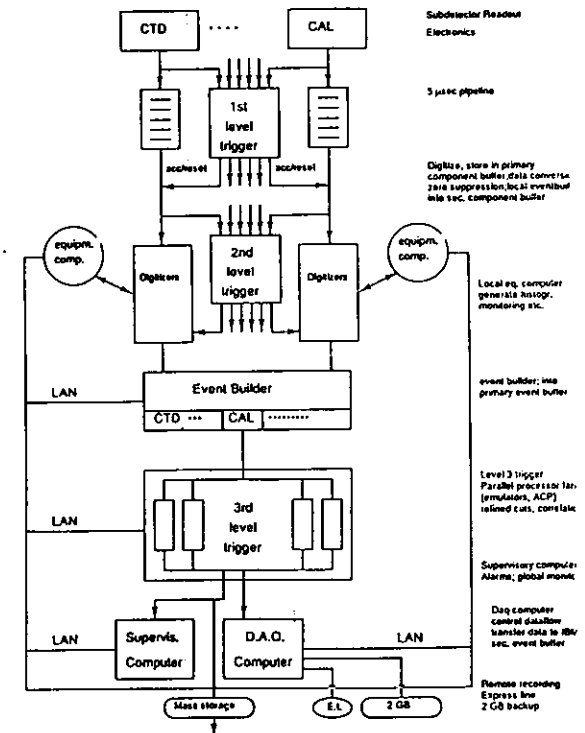


Abbildung 3.1: Datenauslese am ZEUS-Detektor [ZEU89]

Kapitel 4

Offline Datenverarbeitung

Die im ZEUS-Detektor gemessenen Daten werden kalibriert, digitalisiert und durchlaufen ein dreistufiges Triggersystem, das bereits einige Untergrundereignisse herausfiltert. Die von den Triggern akzeptierten Ereignisse werden aufgezeichnet. Die Online-Datenverarbeitung ist durch die hohen Geschwindigkeitsanforderungen stark eingeschränkt. Deshalb findet die eigentliche Analyse der Daten offline statt, d.h. die Rohdaten werden vom Band gelesen und weiterverarbeitet. Zur Offline-Datenverarbeitung gehört die Rekonstruktion der Daten, die Selektion bestimmter Ereignistypen und schließlich deren physikalische Auswertung. Auf der Offline-Seite steht wesentlich mehr Zeit zur Verfügung, lediglich die Rekonstruktion muß mit der Datennahme Schritt halten.

4.1 MOZART

Das Programmpaket MOZART (Monte Carlo for ZEUS Analysis, Reconstruction and Trigger) dient zur Simulation des ZEUS-Detektors. MOZART simuliert die Antwort aller Detektorkomponenten auf einfallende Teilchen und speichert die Meßergebnisse in einem Format, das mit dem der gemessenen Daten weitgehend übereinstimmt (ADAMO-Tabellen¹). Die Offline-Programme können die simulierten Daten genauso einlesen wie die echten Daten. Dadurch war es möglich, die Trigger- und Rekonstruktionssoftware zu testen und zu optimieren, bevor echte Daten zur Verfügung standen.

MOZART simuliert den Detektor, aber nicht die Wechselwirkung zwischen Elektronen und Protonen im Vertex. Die e-p-Reaktionen im Strahlrohr werden durch einen speziellen Monte Carlo Generator simuliert, der Art, Energie und Impuls der Teilchen festlegt, z. B. UA5 für Strahl-Gas-Ereignisse oder PHYTIA für Photoerzeugung. Die dabei entstehenden Teilchen werden an MOZART weitergereicht und durch den Detektor verfolgt.

Zur eigentlichen Monte Carlo Simulation ruft MOZART das Programm GEANT aus der CERN-Library auf. GEANT liest die Detektor-Geometrie aus dem sog. Bologna-Schema ein und simuliert die Wechselwirkungen der Teilchen mit den verschiedenen Materialien im Detektor.

4.2 ZEPHYR

ZEPHYR (ZEUS Physics Reconstruction) ist das ZEUS-Rekonstruktionsprogramm [JON92]. ZEPHYR sucht nach Teilchenspuren, identifiziert die Teilchen und bestimmt schließlich deren Energie und Impuls. Die Rekonstruktion findet in drei Schritten statt. Zuerst werden die Messungen jeder einzelnen Komponente für sich betrachtet. In der zweiten Phase werden die Informationen aller Komponenten zusammengefaßt und die Teilchenspuren durch den gesamten Detektor verfolgt (Global Tracking). In der letzten Stufe werden die Teilchen identifiziert.

Phase 1 In der Phase 1 findet eine endgültige Kalibration der Daten statt, bei der Informationen berücksichtigt werden, die während der Datennahme noch nicht zur Verfügung standen, z. B. die neuesten Kalibrationsdaten aus der Messung der natürlichen Radioaktivität des Urans (UNO-Runs²). Der größte Teil der Kalibration findet jedoch online in Prozessorkarten (DSP³) direkt am Detektor statt, die Rohdaten sind bis auf einen kleinen Fehler also schon interpretierbar. Die Messungen der einzelnen Komponenten werden zuerst isoliert betrachtet. Die Rekonstruktion im Kalorimeter beginnt mit der Suche nach Energiedepositionen einzelner Teilchen (Condensat) oder Teilchen-Jets (Cluster). Für diese Objekte werden Energie und Position bestimmt. Ähnliche Verfahren werden in allen Komponenten durchgeführt.

Phase 2 In der zweiten Phase werden die Ergebnisse aller Komponenten zusammengefaßt. Die Teilchen bzw. Jets, die in den einzelnen Komponenten gefunden wurden, werden zu Teilchenspuren zusammengesetzt, die durch den ganzen Detektor reichen (Global Tracking). Die Cluster und Condensates im Kalorimeter werden mit den Messungen im Backing Kalorimeter verglichen; dann wird für die neuen Objekte Energie und Position mit höherer Genauigkeit bestimmt. Außerdem werden die Spuren, die in den Spurkammern gefunden werden, mit den Clustern im Kalorimeter verbunden.

Globale Rekonstruktion In der letzten Rekonstruktionsstufe werden die Vertices der Reaktionen bestimmt und die Viererimpulse aller entstandenen Teilchen ausgerechnet. Außerdem wird versucht, die Teilchen zu identifizieren.

4.3 EAZE

Das Programmpaket EAZE (Effortless Analysis of ZEUS Events) stellt einen Programmrahmen zur einfachen Analyse der Daten dar. Der Anwender kann relativ leicht eigene FORTRAN-Routinen in EAZE einfügen und mit Steuerkarten auswählen, welche Daten gelesen werden sollen. Die Rohdaten liegen in Form von ADAMO-Tabellen vor. Für ein Ereignis wird ein Satz von mehr als 200 Tabellen gefüllt. Jede Tabelle enthält die Messungen einer bestimmten Detektorkomponente und ist in der DDL⁴ [DDL92] beschrieben. EAZE öffnet die Datenbank und liest nacheinander alle gewünschten Ereignisse ein, so daß der Anwender in seinem Programm direkt auf die ADAMO-Tabellen zugreifen kann. Es ist auch möglich, selektierte Ereignisse in eine neue Datei zu kopieren und auf verschiedene Libraries (z. B. HBOOK) zuzugreifen. Mit Hilfe von Steuerkarten können der Run und spezielle Ereignisse zur Analyse ausgewählt werden. EAZE steht auf allen DESY-Rechnern zur Verfügung; es ist aber nur von der IBM aus möglich, direkt auf alle Rohdaten zuzugreifen. EAZE wird im nächsten Kapitel ausführlicher beschrieben.

²UNO - Uranium Noise

³DSP - Digital Signal Processor

⁴DDL - Data Definition Language, die DDL definiert die ADAMO-Datenstruktur.

¹ADAMO - ALEPH Data Model ist die bei ZEUS verwendete Datenbank

Kapitel 5

EAZE

Ein großer Teil der Zugriffe auf die Ereignisdaten wird mit Hilfe von EAZE durchgeführt. Auch andere Programme, wie die Rekonstruktion ZEPHYR oder die Trigger-Simulation ZGANA, lesen die Daten mit denselben Routinen wie EAZE ein.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Bedienung von EAZE vereinfacht. Es sollte nicht mehr nötig sein, die Namen aller zu lesenden Bänder von Hand einzugeben, sondern das Programm sollte anhand der Runnummer die entsprechenden Bänder selbständig finden. Außerdem sollte es ermöglicht werden, ganze Bänder kurzzeitig auf eine Platte zu kopieren (Staging) und damit mehreren Interessenten gleichzeitig den Zugriff auf die Daten zu ermöglichen.

5.1 Ereignisdaten und ADAMO

Die einzelnen Meßabschnitte am ZEUS-Detektor werden als „Runs“ bezeichnet. Während eines Runs werden alle Betriebsbedingungen konstant gehalten. Ein Run besteht aus vielen Ereignissen, jedes Ereignis besteht aus allen Daten, die während einer Teilchenkollision vom Detektor gemessen werden. Das Ereignis ist die Grundlage für eine physikalische Auswertung, während der Run die Bedingungen festlegt, unter denen das Ereignis stattgefunden hat. Während des Runs werden über eine Glasfaserleitung kontinuierlich Daten vom Detektor zum Zentralrechner geschickt. Diese Daten werden erst auf einer Platte zwischengespeichert und in Abständen von einigen Minuten auf Band geschrieben. Jedes Band bekommt einen eindeutigen Namen, der Datum und Uhrzeit der Datennahme enthält. Gleichzeitig wird der Bandname mit der Runnummer und anderen wichtigen Informationen in eine Datenbank eingetragen. Diese Datenbank heißt RUNINFO und liefert u. a. zu einer Runnummer die dazugehörigen Bandnamen. Auch die Namen der Bänder, die die rekonstruierten und selektierten Daten enthalten, werden in diese Datenbank eingetragen. Die Bänder werden in sogenannten Silos aufbewahrt. Jedes dieser Silos faßt ca. 6000 Bänder und ist mit mehreren Bandlaufwerken und einem Roboter ausgestattet, der auf Anfrage das gewünschte Band in ein freies Laufwerk einlegt. Am DESY sind vier solcher Silos im Einsatz, so daß auf etwa 24000 Bänder entsprechend 6 TB innerhalb einiger Sekunden automatisch zugegriffen werden kann. Der Anwender muß lediglich das Betriebssystem der zentralen IBM-Anlage anweisen, das entsprechende Band zu öffnen. Von anderen Rechnern (z. B. VAX) kann nicht direkt auf diese Bänder zugegriffen werden.

Für jedes Ereignis fallen 120 - 150 KB Rohdaten und weitere 150 - 180 KB rekonstruierte Daten an. Ein rekonstruiertes Ereignis enthält alle für dieses Ereignis verfügbaren Informationen, u. a. auch eine Kopie der Rohdaten. Alle Daten werden von der Datenbank ADAMO in Form von Tabellen verwaltet. Für jede Komponente wird eine Anzahl von Tabellen mit den gemessenen Daten gefüllt, wobei das Datenformat durch die Definition der Tabelle festgelegt ist. Diese Tabellen stehen auf Band und können bei Bedarf von der Datenbank eingelesen und verarbeitet werden. Bei der Datenanalyse wird immer nur ein Ereignis zur Zeit eingelesen. Dazu gibt es Datenbankbefehle, die in Form von FORTRAN-Unterprogrammen zur Verfügung stehen. Ein Analyseprogramm enthält neben

dem eigentlichen Analysecode eine Reihe von Datenbankankweisungen, die die Datenbank initialisieren, festlegen, welches Ereignis von welchem Datenträger eingelesen werden soll, und den Zugriff auf die Tabellen ermöglichen.

5.2 Bedienung von EAZE

Um dem Anwender die Nutzung der Datenbank zu vereinfachen, gibt es den Programmrahmen EAZE. EAZE erledigt alle Datenbankoperationen, die ausgeführt werden müssen, bevor die Daten wirklich verfügbar sind, z. B. Starten der Datenbank, Öffnen der Input-Files, Einlesen der Daten usw. Für den Anwender sind nur drei EAZE-Routinen sichtbar (Abb. 5.1), in denen eigene Programme aufgerufen werden können :

ZUINIT — Initialisierung
ZUANAL — Analyseschleife
ZUTERM — Programm beenden

EAZE ruft die Routine ZUANAL für jedes Ereignis einmal auf, während die beiden anderen Routinen nur je einmal am Anfang und am Ende ausgeführt werden. ZUINIT wird aufgerufen, bevor das erste Ereignis eingelesen wird, d.h. es stehen noch keine Daten zur Verfügung, und auf die Tabellen kann noch nicht zugegriffen werden. EAZE läuft als Batch-Job im Hintergrund; das Programm wird auto-

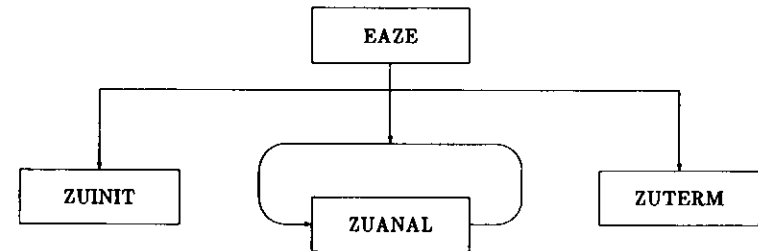


Abbildung 5.1: User-Routinen von EAZE

matisch abgearbeitet, die Möglichkeit, den Programmablauf interaktiv vom Terminal zu beeinflussen, besteht nicht. Es ist aber möglich, im Batch-Job Steuerkarten anzugeben, die den Programmablauf regeln. Während die JCL-Befehle immer mit großen Buchstaben geschrieben werden müssen, können die Steuerkarten groß oder klein geschrieben werden. Ein vollständiger EAZE-Job steht im Anhang B. Die Steuerkarten haben die folgende Form :

```

* ----- I/O control cards follow -----
C          #runmin      runmax          {range of runs}
ZeusIO--RUWR      3003      3003
C ZeusIO--RUWR      986      995
C          #run          evmin          evmax          {range of events}
ZeusIO--EVTR      1622      1          400
C ZeusIO--EVTR      1078      2500      3500
C
  
```

```

C
C ZeusIO--INFI    EAZE$INP
C                EAZE$IN2
C
C ZeusIO-INFI    RAWTAPE
C ZeusIO-INFI    ZEUS92.RAW.D920902.T1514.R003780C
C                ZEUS92.ZOF.RAW.D920508.T2211
C ZeusIO-STAGE   YES
C
C ZeusIO--OUFI   EAZE$OUT
-----

```

ZeusIO steht für Zeus-Input/Output; diese Steuerkarten legen fest, welche Daten von wo gelesen werden sollen und wohin die Ausgabe geschrieben werden soll. Die Karten RUMR und EVTR geben die Runnummer und das Ereignisintervall, das gelesen werden soll, an. Im Beispiel soll der ganze Run 3003 gelesen werden, vom Run 1622 werden nur die ersten 400 Ereignisse gelesen. Die mit „C“ beginnenden Zeilen sind Kommentar. Die INFI-Karten definieren die Eingabedatei. Wenn die Eingabedatei im Batch-Job mit einer Betriebssystemanweisung vereinbart wird, muß EAZE\$INP eingeschaltet werden, mit RAWTAPE werden die Bandnamen dagegen automatisch ermittelt und die Bänder eingelegt. Die RAWTAPE-Option funktioniert nur mit Bändern, deren Namen in der RUNINFO-Datenbank gespeichert sind. Anstelle von RAWTAPE kann auch der Bandname direkt eingegeben werden. Das hat gegenüber der Vereinbarung mit einem Betriebssystemkommando den Vorteil, daß das Band, wie bei der RAWTAPE-Option, während des Programmlaufs dynamisch geöffnet wird und die komplizierte JCL-Syntax entfällt.

Mit der STAGE-Karte kann ein Band auf die Stage-Disk kopiert und von dort gelesen werden. Das ist dann sinnvoll, wenn dieses Band mehrmals hintereinander gelesen werden soll oder wenn viele Programme gleichzeitig darauf zugreifen wollen. Anstelle von RAWTAPE kann auch RECTAPE oder DSTAPE angegeben werden. Dann werden anstelle der Rohdaten die rekonstruierten (REC) oder die ausgewählten (DST) Daten gelesen. Die letzte Option (OUFI – Output-File) bestimmt die Ausgabedatei für selektierte Ereignisse. Das Format wird dabei nicht verändert, so daß diese Ereignisse wieder mit EAZE gelesen werden können.

5.3 Programmstruktur von EAZE

EAZE besteht aus drei Teilen : Der Initialisierungsroutine (ZAINIT), der Ereignisschleife (ZINREC und ZAANAL) und der Terminierung (ZATERM). ZAINIT initialisiert die Datenbank ADAMO, liest die Steueranweisungen ein und öffnet alle benötigten Dateien. Die Initialisierung von ADAMO geschieht durch den Aufruf von ZINTAP. Danach ist die Datenbank bereit, Daten einzulesen und zu bearbeiten. Die Steuerkarten werden mit den Routinen KWFFRD, ZRFFKY, KWIFET und ZESACA gelesen und verarbeitet. Die gewünschten Dateien werden mit ZIOINI und ZDIN geöffnet. ZIOINI öffnet sequentielle Dateien, z. B. Banddateien, ZDIN Direktzugriffsdateien (direct access files). Zum Schluß wird die Routine ZUNIT gerufen. ZUNIT ist, wie ZUANAL und ZUTERM, nicht in EAZE enthalten, sondern muß vom Anwender geschrieben werden.

Nach der Initialisierung beginnt eine Schleife über alle angeforderten Ereignisse. Die beiden Routinen ZINREC und ZAANAL werden für jedes Ereignis einmal aufgerufen. ZINREC hat die Aufgabe, die Daten des nächsten Ereignisses einzulesen. Sobald die Daten zur Verfügung stehen, werden eine Reihe von Abfragen durchgeführt :

Sind bereits alle Ereignisse abgearbeitet ? Die maximal zu lesende Zahl von Ereignissen kann mit einer Steuerkarte festgelegt werden. Wenn diese Anzahl erreicht ist, wird EAZE beendet.

Ist noch genügend Rechenzeit übrig ? Jedem Programm steht nur eine begrenzte Rechenzeit zur Verfügung. Wenn diese Zeit abgelaufen ist, wird das Programm mitten im Lauf abgebrochen und endet dann meist in einem undefinierten Zustand. Um das zu verhindern, kann man in regelmäßigen Abständen nachsehen, wieviel Zeit dem Programm noch verbleibt, und es rechtzeitig beenden. EAZE führt beim Unterschreiten einer bestimmten, über eine Steuerkarte festlegbaren Zeit, die Terminierungsroutinen aus. Damit ist garantiert, daß alle Dateien ordnungsgemäß geschlossen werden. Das ist auch für den Anwender wichtig, da die in der Ereignisschleife gesammelten Daten oft erst in ZUTERM in eine Datei geschrieben werden. Wenn ZUTERM nicht abgearbeitet würde, wären alle Daten verloren.

End of File ? Ist das Ende des Bandes erreicht?

ERROR ? Wenn beim Einlesen des nächsten Ereignisses ein Fehler auftritt, wird eine entsprechende Fehlermeldung ausgegeben. Zum Beispiel kann die ADAMO-Struktur des Ereignisses zerstört sein, so daß die Daten von ADAMO nicht gelesen werden können. ZUANAL wird allerdings auch für nicht lesbare Ereignisse aufgerufen, die Tabellen enthalten dann aber noch die Daten des letzten korrekt eingelesenen Ereignisses. Der Anwender muß deshalb selber sicherstellen, daß tatsächlich das nächste Ereignis eingelesen wurde (z. B. durch Vergleich der Ereignisnummern).

Wenn die Ereignisschleife bis hierher nicht verlassen wurde, wird ZAANAL gerufen, das schließlich ZUANAL startet. In ZUANAL werden die gewünschten Daten aus den ADAMO-Tabellen gelesen und verarbeitet. Es ist möglich, bestimmte Ereignisse zu selektieren und in eine andere Datei (auf Band oder Platte) zu schreiben. Das wird im Anschluß an ZAANAL bei Bedarf getan. Damit ist die Ereignisschleife beendet. EAZE springt jetzt wieder zu ZINREC und liest das nächste Ereignis ein.

ZATERM beendet zuerst die Anwendererroutinen, indem ZUTERM aufgerufen wird. Der Anwender kann in ZUTERM die in der Ereignisschleife gesammelten Daten statistisch auswerten und die Ergebnisse abspeichern. Danach beginnt EAZE, alle eigenen Prozeduren zu beenden. Die sequentiellen Dateien, insbesondere die Banddateien, werden in ZRCLOS geschlossen. Danach werden die EAZE Status- und Fehlermeldungen ausgegeben (MoMoQu), und schließlich wird ADAMO mit dem Aufruf von CLOTAP beendet. Die Abbildung 5.2 gibt einen groben Überblick über die Struktur der Unterprogramme in EAZE.

5.4 Bandnamen lesen

Längere Runs belegen über 50 Bänder, deren Namen je 35 Zeichen lang sind. Für den Anwender ist es unzumutbar, alle diese Namen nachzuschlagen und von Hand in das Batch-Programm einzutragen, das EAZE startet. Die Routine TAPE wurde entwickelt, um diese Aufgabe zu automatisieren. Die Routine sucht sich aus den EAZE-Steuerkarten alle angeforderten Runs zusammen, sortiert sie, greift über die Run-Nummer auf die RUNINFO-Datenbank [NIS92] zu und liest zu jedem Run die entsprechenden Bandnamen. Da mehrere kurze Runs auf einem Band stehen können, werden doppelt auftretende Namen nur einmal akzeptiert. Wie diese Routine innerhalb von EAZE arbeitet, wird jetzt kurz beschrieben.

EAZE ruft im Initialisierungsteil die Routine IPPFAD auf und füllt dort die in den Steuerkarten angegebenen Dateinamen in die Tabelle ZRINPT. ZRINPT ist eine ADAMO-Tabelle, die aber in keinem Zusammenhang mit den Ereignisdaten steht, sondern intern von EAZE erzeugt wird. Alle in ZRINPT enthaltenen Dateien werden später in der Ereignisschleife nacheinander gelesen.

Die RAWTAPE-Option schreibt anstelle eines Dateinamens das Wort RAWTAPE in ZRINPT. Nachdem ZRINPT gefüllt ist, wird die Routine TAPE aufgerufen. TAPE sucht in ZRINPT nach dem Ausdruck RAWTAPE¹. Nur wenn RAWTAPE gefunden wird, erfolgt der Zugriff auf die RUNINFO-Datenbank, die alle Bandnamen nach den Runnummern geordnet enthält. Zu einem Run gibt es

¹Anstelle von RAWTAPE kann im Folgenden auch immer RECTAPE oder DSTAPE eingesetzt werden.

mehrere Arten von Bändern: Die Rohdaten-Bänder (RAW-Tapes), die lediglich die vom Detektor ausgelesenen Daten enthalten, die Bänder mit den rekonstruierten Daten (REC-Tapes), die außer den Rekonstruktionsdaten auch noch die Rohdaten enthalten, und schließlich Bänder mit ausgewählten Ereignissen (DST's²). Die Runnummer und die gewünschten Daten (RAW, REC oder DST) werden mit Steuerkarten ausgewählt. TAPE sucht sich die Bandnamen aus der Datenbank heraus. Die Bandnamen werden schließlich in ZRINPT gefüllt, nachdem alle alten Einträge aus dieser Tabelle gelöscht wurden. Wenn ZRINPT den Ausdruck EAZE\$INP oder einen Dateinamen enthält, wird TAPE sofort wieder verlassen.

5.5 Bänder dynamisch zuordnen

Mit dem Betriebssystem MVS-NEWLIB ist es nicht möglich, ein Band mit einer einfachen FORTRAN-Open-Anweisung zum Lesen zu öffnen. Das Betriebssystem erwartet vor dem Öffnen, daß eine Beziehung zwischen dem Bandnamen (DSN) und einem internen Namen (DDN) hergestellt wird. Dieser kann willkürlich gewählt werden, muß aber innerhalb des Programms eindeutig sein. Das DESY-Rechenzentrum stellt dafür die Routine DYNSDN zur Verfügung [SOM92]. DYNSDN erwartet den DS- und DD-Namen und ordnet den Bandnamen für die Dauer des Programmablaufs dem DS-Namen zu.

DYNSDN muß vor dem OPEN-Befehl aufgerufen werden. EAZE öffnet die ADAMO-Dateien (GAF's - Global ADAMO Files) in der Routine IPFOPE; DYNSDN wird also in IPFOPE vor der ADAMO-Anweisung OPEGAF aufgerufen. OPEGAF ruft innerhalb von ADAMO schließlich OPEFIL, wo der eigentliche FORTRAN-OPEN-Befehl steht. IPFOPE versucht der Reihe nach, alle in ZRINPT enthaltenen Dateien zu öffnen.

Eine andere Möglichkeit, Bänder dynamisch zuzuordnen, besteht darin, sie auf eine Platte zu kopieren und dann die Daten von der Platte zu lesen (Staging). Das hat den Vorteil, daß viele Programme gleichzeitig dieselbe Datei lesen können. Das DESY-Rechenzentrum hat ein Stage-System eingerichtet, das die Dateien auf der Stage-Disk verwaltet und nach einer bestimmten Zeit auch wieder löscht, um Platz für neue Dateien zu schaffen. Mit der Routine STAGE können Bänder aus Programmen heraus auf diese Disk kopiert und gleichzeitig einem DD-Namen zugeordnet werden. Der Aufruf von DYNSDN entfällt dann.

In den EAZE-Steuerkarten kann bestimmt werden, ob die zu lesenden Bänder auf die Stage-Disk kopiert werden sollen oder nicht. Auch wenn das nicht der Fall ist, wird jeweils geprüft, ob das nächste Band schon auf Disk steht, und - wenn möglich - die Datei auf Disk anstelle des Bandes gelesen. Alle diese Entscheidungen werden in der Routine RUFDYN getroffen. Diese Funktionen lassen sich mit drei neuen EAZE-Steuerkarten (Seite 11, fett hervorgehoben) aktivieren.

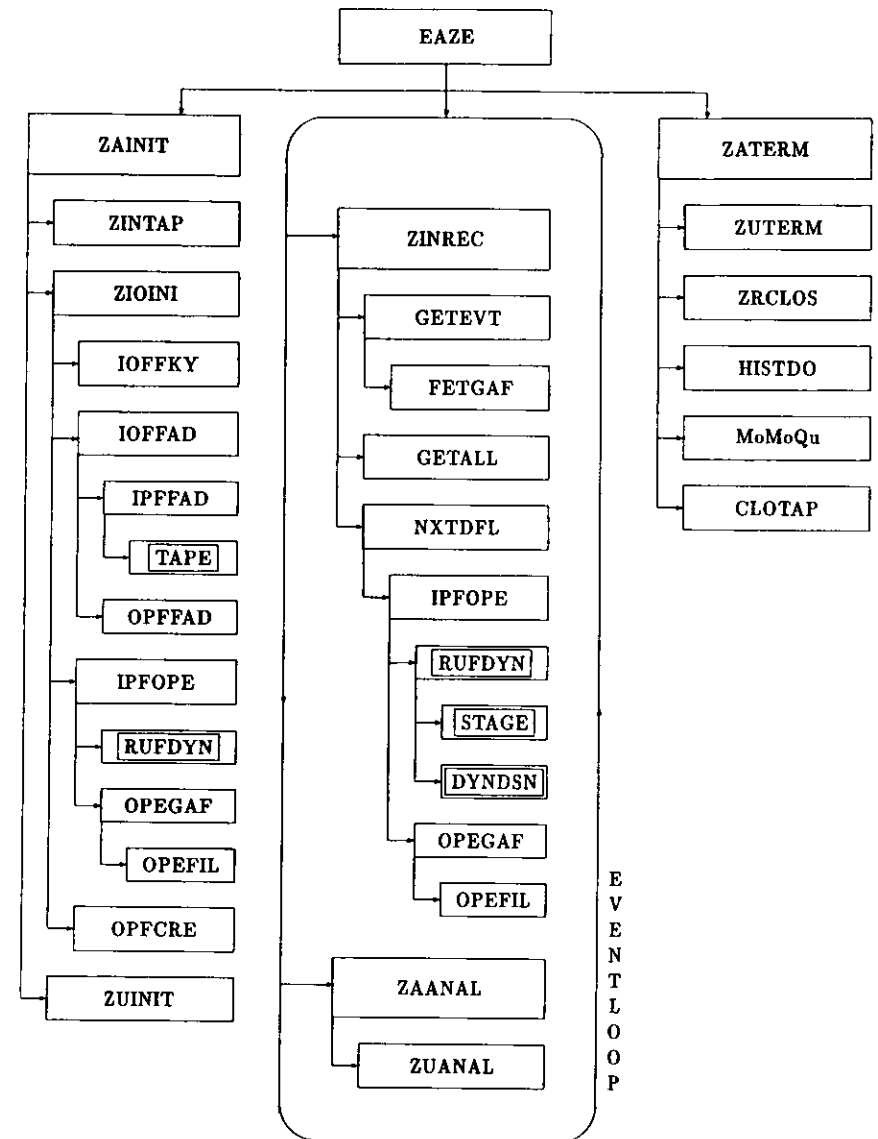


Abbildung 5.2: Struktur der Unterprogramme von EAZE

²DST - Data Split Tape

Kapitel 6

Das zentrale Kalorimeter

Das zentrale Kalorimeter ist ein Sampling-Kalorimeter, das aus abwechselnden Lagen von Uranplatten und Szintillatoren besteht. Es wurde speziell für eine möglichst genaue Messung von Hadronen-Jets konstruiert, um die Rekonstruktion einer $e-p$ -Reaktion alleine aus einem Hadronen-Jet zu ermöglichen. Für Reaktionen mit geladenen Austauschteilchen (W^\pm) ist dieser Jet die einzige meßbare Größe, da das auslaufende Lepton in diesem Fall ein Neutrino ist, das nicht nachgewiesen werden kann. Die beste Energieauflösung für Hadronen wird mit kompensierenden Kalorimetern erreicht, die für Elektronen und Hadronen derselben Energie nahezu das gleiche Signal liefern ($e/h=1$). Die Kompensation wird durch Uran als Absorbermaterial erreicht.

Die Energieauflösung des ZEUS-Kalorimeters beträgt $\frac{\sigma}{E} = \frac{18\%}{\sqrt{E}} \oplus 1\%$ für elektromagnetisch wechselwirkende Teilchen und $\frac{\sigma}{E} = \frac{35\%}{\sqrt{E}} \oplus 2\%$ für Hadronen (E in GeV). Nicht kompensierende Kalorimeter erreichen nur etwa eine Energieauflösung von $\frac{\sigma}{E} = \frac{50\%-60\%}{\sqrt{E}} \oplus 4\%$.

6.1 Aufbau des Kalorimeters

Das zentrale Kalorimeter besteht aus drei Komponenten, dem FCAL (Forward Calorimeter), BCAL (Barrel Calorimeter) und RCAL (Rear Calorimeter). Das BCAL ist ein großer Zylinder mit einem Innendurchmesser von 2,44 m und einem Außendurchmesser von 4,58 m, der das Strahlrohr, die Spurkammern und die supraleitende Spule umschließt. Das FCAL und RCAL haben eine achteckige Form und schließen das BCAL in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung ab. Ihr Durchmesser ist etwas größer als der Außendurchmesser des BCAL's. Das Gesamtkalorimeter schließt so fast den gesamten Raumwinkel (99,5 %) ein. Die Abbildung 6.1 zeigt einen Schnitt durch das Kalorimeter, Abbildung 6.2 das FCAL und RCAL.

Jede der drei Komponenten ist aus mehreren Modulen aufgebaut, die wiederum aus Türmen zusammengesetzt sind. Ein Turm enthält bis zu sechs Zellen; die Zelle ist die kleinste Einheit des Kalorimeters. Die Anzahl der Module, Türme usw. in jeder Komponente ist in Tabelle 6.1 aufgelistet. Der Aufbau von FCAL und RCAL ist sehr ähnlich; das FCAL hat jedoch eine größere Tiefe, da die

	FCAL	BCAL	RCAL	Summe
Module	23	32	23	78
Türme	460	448	452	1360
Zellen	2172	2592	1153	5917
Kanäle	4344	5184	2306	11834

Tabelle 6.1: Unterteilung des Kalorimeters

meisten Reaktionsprodukte in Vorwärtsrichtung fliegen. FCAL und RCAL sind vertikal in je 23 Module unterteilt, deren Länge nach außen hin abnimmt. Jedes Modul bildet eine mechanische Einheit.

Die Uranplatten haben die gleiche Länge wie das Modul und sind nicht weiter unterteilt. Ein Modul besteht aus mehreren Türmen mit einer Fläche von $20 \times 20 \text{ cm}^2$. Die Zahl der Türme beträgt für die längsten Module 23, für die kürzesten 11. Der Aufbau von FCAL und RCAL ist in Abbildung 6.2 dargestellt. In die Abbildung sind auch die Nummern der Module und Türme eingetragen, wie sie in der Datenauswertung verwendet werden (Anhang A.2.1, S. 60). Da FCAL und RCAL je aus der Sicht des Wechselwirkungspunktes gezeigt werden, erscheint das RCAL gegenüber dem FCAL 180° um die vertikale Achse gedreht.

Alle Koordinaten beziehen sich auf das ZEUS-Koordinatensystem, das in [HIL86] festgelegt ist. Die z -Achse des Koordinatensystems zeigt in die Richtung des Protonenstrahls, die y -Achse nach oben und die x -Achse nach links, d. h. zum Zentrum des HERA-Rings.

Das BCAL besteht aus 32 Modulen von 3,27 m Länge. Die Module liegen parallel zum Strahlrohr und haben je einen Öffnungswinkel von $11,25^\circ$. Jedes BCAL-Modul besteht aus 14 Türmen. Die Türme sind gegenüber der Achse zum Wechselwirkungspunkt um $2,5^\circ$ gedreht, so daß kein Teilchen durch das tote Material zwischen zwei Türmen unbemerkt entkommen kann. Die Türme von FCAL/RCAL und BCAL sind im Prinzip gleich aufgebaut, nur die Form ist unterschiedlich. Ein Turm setzt sich aus mehreren Zellen zusammen. Jede Zelle wird einzeln ausgelesen und bestimmt damit die Ortsauflösung des Kalorimeters. Ein typischer FCAL-Turm ist in Abbildung 6.3 dargestellt. Die dem Wechselwirkungspunkt zugewandte Seite besteht aus vier elektromagnetischen Kalorimeterzellen (EMC) mit Abmessungen von $5 \times 20 \text{ cm}^2$. Dahinter folgen zwei hadronische Kalorimeterzellen (HAC) mit je einer Fläche von $20 \times 20 \text{ cm}^2$. Die Türme des FCAL's und RCAL's, die von den BCAL-Modulen überdeckt werden, haben anstelle der vier bzw. zwei EMC-Zellen eine HAC0-Zelle. Das RCAL ist ähnlich wie das FCAL aufgebaut, hat jedoch nur eine HAC1-Sektion und eine gröbere Unterteilung des elektromagnetischen Kalorimeters. Das RCAL-EMC besteht nur aus zwei $10 \times 20 \text{ cm}^2$ großen Zellen pro Turm. Die Tabelle 6.2 gibt an, wieviele EMC- und HAC-Zellen es in jeder Komponente des Kalorimeters gibt.

	FCAL		BCAL		RCAL		Summe	
	Zellen	Kanäle	Zellen	Kanäle	Zellen	Kanäle	Zellen	Kanäle
EMC	1056	2112	1696	3392	511	1022	3263	6526
HAC0	196	392	—	—	190	380	386	772
HAC1	460	920	448	896	452	904	1360	2720
HAC2	460	920	448	896	—	—	908	1816
Summe	2172	4344	2592	5184	1153	2306	5917	11834

Tabelle 6.2: Anzahl der Zellen und Kanäle im Kalorimeter

Eine Zelle besteht aus aufeinanderfolgenden Schichten von Uran und Szintillatormaterial. Eine FCAL-EMC-Zelle enthält 24, eine HAC-Zelle 77 Uran-Szintillator-Lagen. Ein hochenergetisches Teilchen erzeugt im Uran Teilchenschauer, die den Szintillator zur Lichtemission anregen. Das Licht aller Szintillatorplatten einer Zelle wird in zwei Lichtleitern an den Seiten der Zelle gesammelt und zu je einem Photomultiplier transportiert. Die Lichtmenge ist proportional zur Energie des Teilchens. Der Photomultiplier wandelt das Licht in ein elektrisches Signal um, das elektronisch weiterverarbeitet werden kann. Jede Zelle wird rechts und links durch je einen Photomultiplier ausgelesen; für eine Zelle werden also zwei Auslesekanäle benötigt. Die beiden Signale werden getrennt ausgelesen und gespeichert. Erst in der Rekonstruktion werden die Signale der rechten und linken Seite wieder zu einer Energie pro Zelle zusammengesetzt.

Die Abbildung 6.3 zeigt den Schnitt durch einen FCAL-Turm. Die Uranplatten haben je die Länge des Moduls; die Aufteilung in Türme und Zellen wird durch die Anordnung der Szintillatoren und deren Auslese durch die Wellenlängenschieber erreicht. Die Bezeichnungen rechter und linker Kanal beziehen sich auf das ZEUS-Koordinatensystem mit Blick in Protonenrichtung. Die linke Seite ist diejenige mit der höheren x -Koordinate, die rechte Seite die mit der kleineren (links = high x , rechts = low x).

Das Kalorimeter besteht insgesamt aus 5917 Zellen, jede Zelle wird an zwei Seiten ausgelesen, so daß 11834 Kanäle ausgelesen und verarbeitet werden müssen.

Die Abbildung 6.4 zeigt den Aufbau eines FCAL-Moduls.

6.2 Auslese des Kalorimeters

Das Ausgangssignal des Kalorimeters besteht aus den Strompulsen der Photomultiplier. Diese Signale müssen sehr schnell in Energien und Zeiten umgerechnet werden, da nach 96 ns bereits das nächste Ereignis ausgelesen wird. Diese hohe Geschwindigkeit läßt sich nur durch Parallelverarbeitung aller 11834 Kanäle erreichen. Die weiter unten beschriebenen Operationen werden deshalb für alle Kanäle gleichzeitig durchgeführt. Hier wird nur kurz beschrieben, wie aus einem Photomultipliersignal Energie und Zeit gewonnen werden; die Arbeitsweise der Trigger und die Datenübertragung werden nicht erwähnt (siehe [SMI90], [CAL92], [SMI89]).

Das Photomultipliersignal muß elektronisch verstärkt werden, bevor es verarbeitet werden kann. Das stellt hohe Anforderungen an die Elektronik, da sowohl das Uranrauschen mit einigen 10 MeV als auch hochenergetische Teilchen mit bis zu 400 GeV pro Kanal mit hoher Genauigkeit gemessen werden sollen. Die maximal zu erwartende Energie pro Kanal ist durch die HERA-Kinematik gegeben, im FCAL treten Energien bis 400 GeV pro Kanal auf, im RCAL nur ca. 60 GeV (Tabelle 6.3). Um über den gesamten Energiebereich eine lineare Verstärkung zu erhalten, wird das Signal jedes Photomultipliers aufgespalten und gleichzeitig an zwei verschiedene Verstärker geleitet, einen mit großem Verstärkungsfaktor (high gain) für kleine Energien und einen zweiten mit kleinem Verstärkungsfaktor (low gain) für hohe Energien.

	FCAL	BCAL	RCAL
high gain	0 - 18	0 - 14	0 - 12
low gain	0 - 400	0 - 314	0 - 60

Tabelle 6.3: Maximale Energien in GeV [CAL92]

Die von einem Photomultiplier erzeugte Ladung ist proportional zu der Energie, die in der jeweiligen Kalorimeterzelle deponiert wurde. Der Zeitpunkt der Energiedeposition wird aus der Lage des Maximums in dem Strompuls bestimmt. Die Photomultiplier erzeugen etwa 50 ns lange Strompulse. Diese Zeit ist zu kurz, um die Pulsform mit ausreichender Genauigkeit abzutasten; der Puls wird deshalb mit einem Signalumformer auf ca. 400 ns Länge gestreckt (Shaping). Dieses gestreckte Signal wird in 96 ns Schritten abgetastet (Sampling) [COL91]. Nur die abgetasteten Punkte des Pulses (Samples) werden gespeichert und weiterverarbeitet, die genaue Pulsform ist nach dem Sampling verloren. Shaping und Sampling werden gleichzeitig für beide Verstärkerkanäle durchgeführt, die Auswahl des richtigen Kanals wird erst später im DSP getroffen.

Alle bisher beschriebenen Schritte werden auf analogen Elektronik-Karten direkt am Detektor durchgeführt. Je eine Karte verarbeitet die Signale von 12 Photomultipliern und speichert sie solange in einer Pipeline (ca. 5µs), bis eine Triggerentscheidung des FLT eintrifft.

Die Daten der Ereignisse, für die eine positive Triggerentscheidung vorliegt, werden über 60 m lange Kabel an eine Digitalkarte weitergegeben. Dort werden die Samples digitalisiert, kalibriert und in Energien und Zeiten umgerechnet. Eine Digitalkarte verarbeitet die Daten von 2 Analogkarten bzw. von 24 Photomultipliern. Die Abbildung 6.5 gibt eine Übersicht über die Ausleseelektronik.

Die Daten beider Verstärkerkanäle werden getrennt in je einem 12 Bit-ADC digitalisiert. Ein 12 Bit-ADC hat 4096 Kanäle, kleine Energien können so mit einer Auflösung von etwa 5 MeV (20 GeV:4000 = 5MeV) gemessen werden, große Energien mit einer Auflösung von ca. 100 MeV (400 GeV:4000=100MeV). Die digitalisierten Daten werden von einem programmierbaren Prozessor (DSP - Digital Signal Processor) weiterverarbeitet [RIT92]. Der DSP liest die high und low gain Daten ein und entscheidet, in welchem Energieintervall die Messung lag. Nur diese Daten werden dann kalibriert.

Der DSP hat für jeden Kanal einen speziellen Satz von Konstanten (Pedestal), mit dem die gemessenen Werte korrigiert werden. Aus den korrigierten Größen werden schließlich die Energie und Zeit berechnet [BER91]. Diese Ergebnisse werden, sofern das Ereignis von allen Triggerstufen akzeptiert wird, auf Bänder aufgezeichnet. Der DSP ist ein 24 Bit-Prozessor, der die Energie als eine 24 Bit- und die Zeit als eine 8 Bit-Integergröße behandelt.

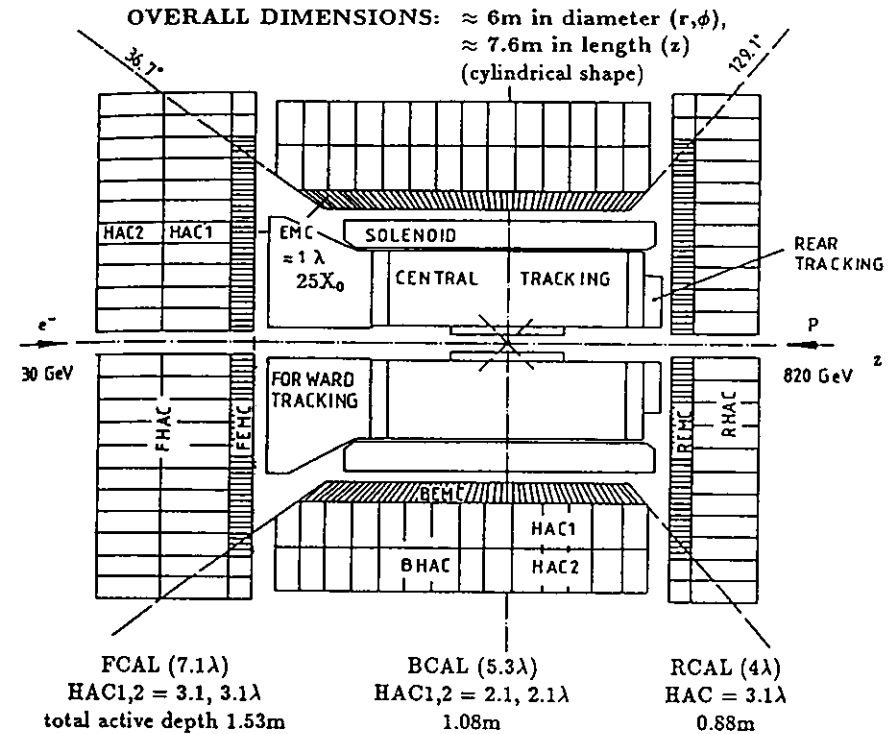


Abbildung 6.1: Schnitt durch das Kalorimeter [KRU92]

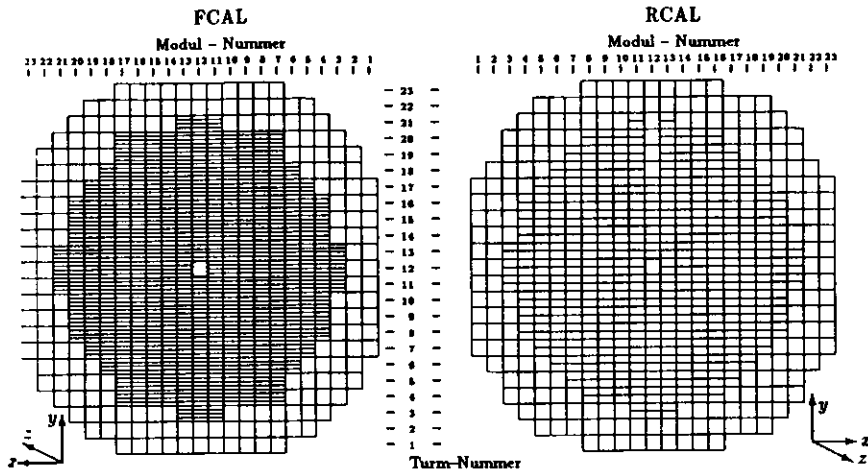


Abbildung 6.2: FCAL und RCAL, jeweils aus der Sicht des Wechselwirkungspunktes.

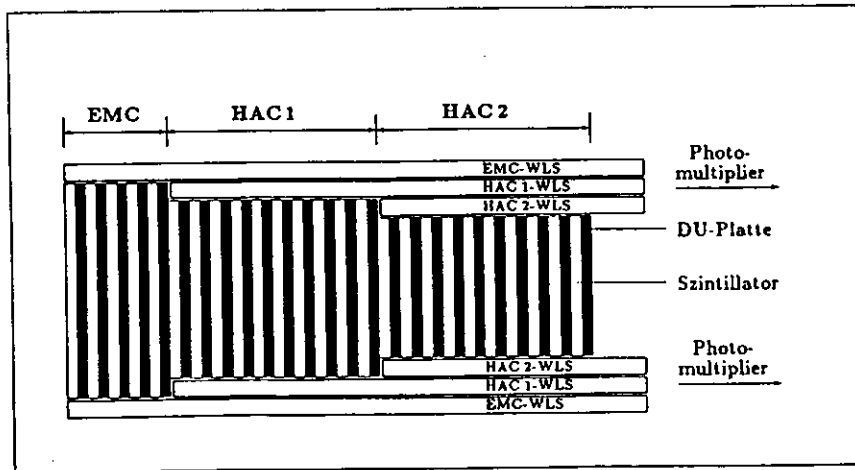


Abbildung 6.3: FCAL-Turm [COL91]

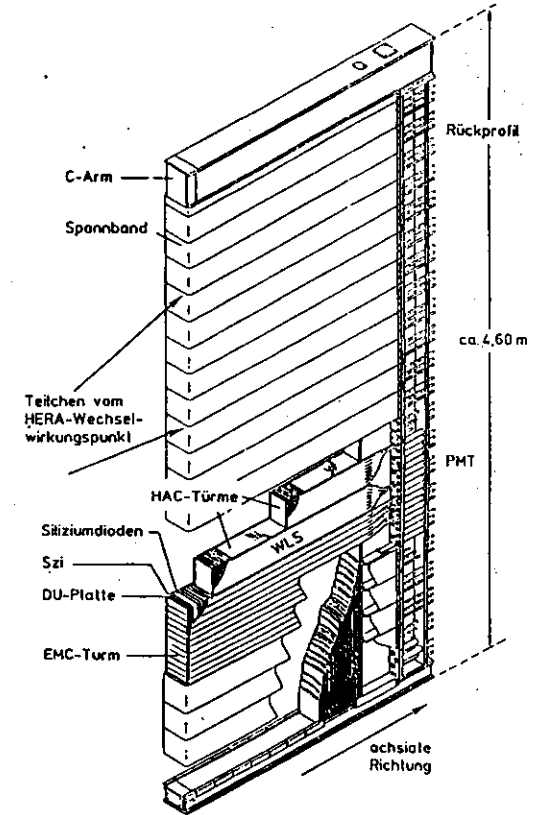


Abbildung 6.4: FCAL-Modul [KLA89]

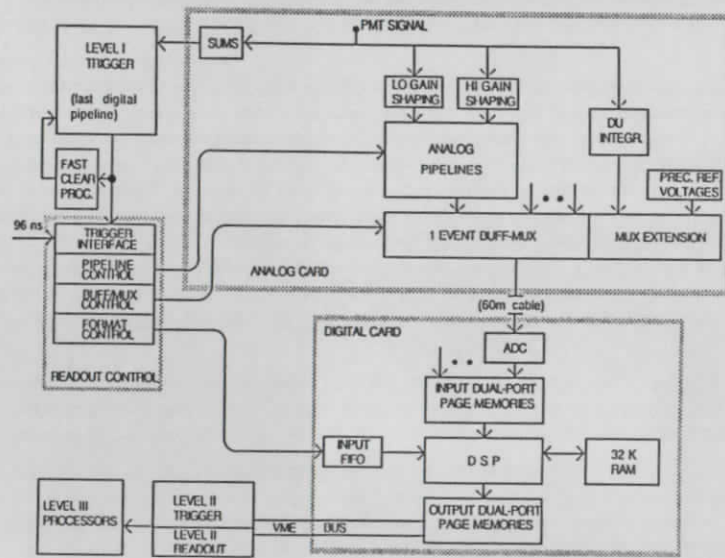


Abbildung 6.5: Schema der Auslese-Elektronik [CAL92]

Kapitel 7

Testergebnisse

Der ZEUS-Detektor ist ein großes und komplexes Meßinstrument, das aus vielen Komponenten und Subkomponenten besteht, die ständig online in ihrer Funktion überwacht werden. Der Schwerpunkt dieser Kontrollen liegt jedoch auf den einzelnen Komponenten. Um den Datenfluß durch alle Komponenten bis zur Speicherung übersehen zu können, wurde mit dem Beginn der Datennahme eine Offline-Kontrolle eingerichtet („Data-Validation“). Dieses Überwachungsprogramm liest die Bänder mit den Rohdaten und ist damit völlig unabhängig von der eigentlichen Datennahme. Das Programm führt die erste und möglichst schnelle Analyse der Rohdaten durch. Es läuft parallel zur Rekonstruktion; die rekonstruierten Daten stehen deshalb noch nicht zur Verfügung.

Die folgenden Detektorkomponenten werden überwacht: Barrel Kalorimeter (BAC), Barrel Muon (BMU), zentrales Kalorimeter (CAL), zentrale Spurkammer (CTD), Forward Muon (FMU), Hadron-Elektron-Separator (HES), Lumi-Detektor (LUM), Trigger (TRG), Veto-Wand (VET) und Vertex-Kammer (VXD).

Die Aufgabe der Offline-Kontrolle ist, Fehlfunktionen festzustellen und möglichst deren Ursache zu bestimmen. Dazu reichen meist über den ganzen Run gemittelte Werte, die einzelnen Ereignisse werden nicht betrachtet. Die Ergebnisse werden in Histogrammen oder Tabellen abgespeichert und sind allgemein zugänglich. Die Datenüberwachung stellt Verteilungen und statistische Kennwerte zur Verfügung, die von den entsprechenden Spezialisten regelmäßig überprüft werden. Dadurch sollen möglichst schnell nach der Beendigung eines Runs Fehler in einer Komponente oder im Datenstrom festgestellt und behoben werden. Fehlende oder falsche Daten können die physikalische Rekonstruktion der Ereignisse eines ganzen Runs unmöglich machen, die Daten sind dann wertlos. Das Überwachungsprogramm wird direkt nach dem Abschluß eines Runs vom ZEUS-Kontrollraum aus gestartet, die Ergebnisse stehen im günstigsten Falle also schon für den übernächsten Run zur Verfügung, in der Regel jedoch erst einen Tag später.

Insgesamt stellt die Offline-Kontrolle für jeden Run einen Satz von Histogrammen zur Verfügung, die mit Hilfe spezieller PAW-Makros am Bildschirm dargestellt oder gedruckt werden können. Die Histogramme werden durch Listen möglicherweise schlechter Kanäle ergänzt, die in bestimmten Dateien stehen. Schließlich gibt es für jeden Run einen Eintrag in einer speziellen Datenbank.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Routine zur Überwachung des Kalorimeters geschrieben. Diese Routine füllt über 280 Histogramme, gibt 15 Listen mit möglicherweise fehlerhaften Kanälen aus und berechnet einige Kennzahlen. Die Ergebnisse werden zur späteren Analyse abgespeichert. Die Aufgabe bestand in der Bereitstellung dieser Daten, die Analyse wird von den Spezialisten für die jeweilige Komponente durchgeführt. Deren Ergebnisse werden in einer Datenbank festgehalten.

In diesem Kapitel werden die Histogramme und Listen beschrieben, die für das Kalorimeter erstellt werden. Eine kurze Beschreibung des Programms folgt in Anhang A.

7.1 Rauschen

Die natürliche Radioaktivität des Urans erzeugt ein ununterbrochenes Signal im Kalorimeter. Dazu kommt das Rauschen der Photomultiplier und der Elektronik. Da bei jedem Ereignis alle Kalorimeter-Kanäle ausgelesen werden, kann dieser Untergrund offline überwacht werden. Indem das Rauschen in jedem einzelnen Kanal beobachtet wird, können tote Kanäle, falsch bestimmte Pedestals usw. erkannt werden.

7.1.1 Uranrauschen

Das Kalorimeter besteht aus abgereichertem Uran (DU^1), das 98,1 % U-238, 1,7 % Nb und weniger als 0,2 % U-235 enthält. Das Uran wurde chemisch von den natürlichen Zerfallsprodukten gereinigt, so daß die Aktivität fast ausschließlich von dem Zerfall des U-238 in U-234 und schließlich Pb-206 herrührt. Die energiereichsten Zerfallsprodukte sind α -Teilchen mit einer Energie von 4,2 MeV. Sie transportieren ca. 80 % der bei den Zerfallsprozessen freiwerdenden Energie. Die Reichweite der α -Teilchen in Uran beträgt etwa 7 μm , sie haben also keine Möglichkeit, die Uranplatten und deren Edeldstahlmantelung zu verlassen. 20 % der Energie wird in Form von β -Strahlen emittiert, deren Energie maximal 2,3 MeV beträgt. Sie haben ca. 1 mm Reichweite in Uran und können gemessen werden. Gammastrahlen mit Energien zwischen 10 und 1000 keV transportieren ca. 1 % der Energie und können ebenfalls nachgewiesen werden. Die natürliche Radioaktivität besteht damit überwiegend aus niederenergetischen Elektronen. [KRU92] [DSY91]

Das sehr konstante Uranrauschen wird zur Kalibration des Detektors genutzt. Der Detektor kann so auf ca. 1 % Genauigkeit geeicht werden. Um den Untergrund so klein zu halten, daß er die Messgenauigkeit des Kalorimeters nicht beeinträchtigt, aber trotzdem noch ein zum Kalibrieren ausreichendes Signal liefert, sind die Uranplatten in 0,2 mm (EMC) bzw. 0,4 mm (HAC) dicke Edeldstahlfolien eingeschweißt. Sie reduzieren das Rauschsignal um 70 % in EMC-Zellen und 90 % in HAC-Zellen.

Das Kalorimeter wird alle 96 ns ausgelesen, in dieser kurzen Zeit ist die Wahrscheinlichkeit, daß mehrere Zerfälle in einer Zelle nachgewiesen werden, nur gering. Das Uranrauschen einer Zelle enthält in der Regel also nur einen Zerfall pro Ereignis. Die Anzahl der Zerfälle in einem 96 ns Intervall folgt einer Poisson-Statistik, das Energiespektrum fällt zu hohen Energien exponentiell ab [LEV88]. Das Uranrauschen alleine erzeugt ein mittleres Signal von ca. 5 MeV in einer Zelle, zusammen mit dem Rauschen des Photomultipliers und der Elektronik werden ca. 8 MeV mittlere Energie gemessen [CAL87] [ZEU89]. Das Energiespektrum und die Standardabweichung von EMC- und HAC-Zellen ist etwa gleich, die HAC-Zellen sind jedoch in dickere Edeldstahlfolien eingeschweißt, so daß die Rate für HAC-Zellen um einen Faktor 3 niedriger liegt. Das Rauschen der Photomultiplier und Elektronik ist gaussförmig und unabhängig von der gemessenen Ladung. Da in 96 ns nur sehr wenige Zerfälle in einer Zelle stattfinden, ist die Standardabweichung etwa von der gleichen Größe wie das Signal selber, also etwa 10 MeV (vergl. Abb. 7.2). Insgesamt erwartet man aus dem Rauschen des Urans, der Photomultiplier und der Elektronik eine mittlere Energie kleiner als 10 MeV und ein σ_E von etwa 10 MeV.

Um nicht bei allen Messungen eine um 10 MeV zu große Energie zu bekommen, wird diese Energie bei der Kalibration der Messungen abgezogen (Pedestal). Die mittlere Energie des Rauschens sollte dann Null sein (Vergl. Abb. 7.1). In der Datenauslese werden schon sehr früh die reinen Meßdaten aus den Photomultipliern in kalibrierte Energien und Zeiten umgerechnet. Durch diese Subtraktion können negative Energien entstehen, die einzeln betrachtet zwar sinnlos sind, aber den richtigen Mittelwert ergeben. Negative Energien können nur in der Größenordnung des Rauschens entstehen, da das gemessene Signal größer oder gleich Null ist und das Pedestal maximal einige MeV beträgt.

¹DU - Depleted Uranium

7.1.2 Histogramme

Bei einem e-p-Ereignis werden nur einige Zellen von hochenergetischen Teilchen getroffen, die anderen Zellen liefern nur das Rausch-Signal, trotzdem werden bei jedem Ereignis alle Zellen ausgelesen. Um die Kanäle herauszusuchen, die angesprochen haben, wird eine Energieschwelle gesetzt. Das Signal aller Zellen, deren Energie unterhalb dieser Schwelle liegt, wird als Rauschen betrachtet, alles was darüber liegt als Signal.

Zwei Werte werden für jede Zelle ausgelesen, die Energie, die in dieser Zelle deponiert wurde, und die Zeit, zu der die Energiedeposition stattfand. Während auch kleine Energien mit ausreichender Genauigkeit gemessen werden können, ist die Qualität der Zeitmessung von der deponierten Energie abhängig. Die Zeit wird um so genauer gemessen, je höher die Energie ist, erst ab ca. 100 MeV ist es überhaupt möglich, eine Zeitmessung durchzuführen (vergl. S. 35). Aus diesem Grund wird die Energieschwelle bei 100 MeV gezogen.

Aus allen Ereignissen eines Runs wird für jeden Kanal die mittlere Energie des Rausch-Signals, die Standardabweichung der Energie und die Anzahl der Ereignisse unterhalb der Energieschwelle ermittelt.

$$\langle E \rangle = \frac{1}{N} \sum_{evt=1}^N E_{Zelle, E < 100 \text{ MeV}}$$

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{\sum_{evt=1}^N E_{Zelle, E < 100 \text{ MeV}}^2 - \langle E \rangle^2 N}{N - 1}}$$

N ist die Zahl der Ereignisse mit weniger als 100 MeV in der betreffenden Zelle. In Abbildung 7.1 wird die mittlere Energie für die linken Kanäle aller EMC1-Zellen des FCAL's gezeigt (low x - rechter Kanal, high x - linker Kanal). Die Standardabweichung der Energie für dieselben Kanäle ist in Abbildung 7.2 zu sehen. Bis auf wenige Ausnahmen liegt sie etwas über 10 MeV und damit im erwarteten Bereich. Entsprechende Histogramme gibt es für alle Kanäle des Kalorimeters, insgesamt je 30 für $\langle E \rangle$ und σ_E .

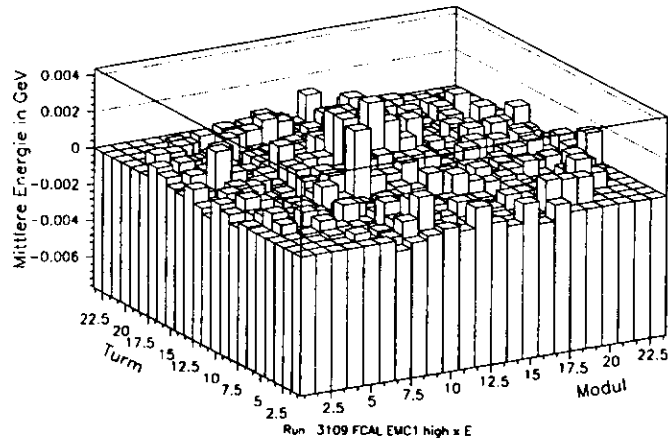


Abbildung 7.1: Mittlere Energie der FCAL EMC1-Kanäle

Im FCAL und RCAL haben die Türme, die vom BCAL überdeckt werden, anstelle der EMC-Zellen eine HAC0-Zelle. Für die HAC0-Zellen werden keine eigenen Histogramme geführt, statt dessen

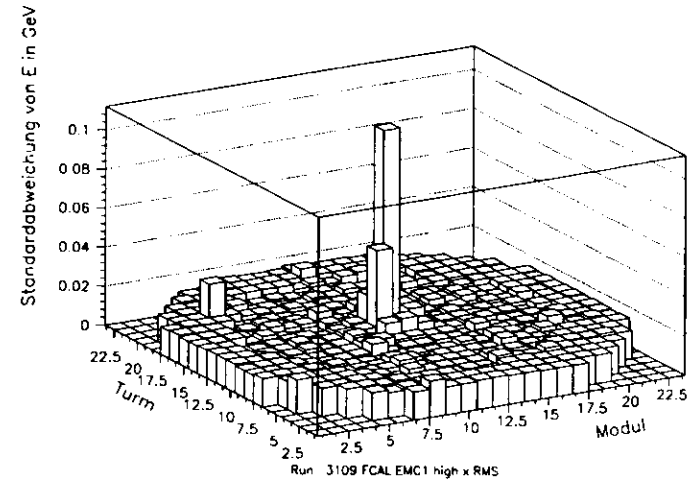


Abbildung 7.2: Standardabweichung der Energie in den FCAL EMC1-Kanälen

werden die Zahlen in die entsprechenden EMC- und HAC-Histogramme gefüllt (HAC0 → EMC1,2,3,4, HAC1,2). Da die Histogramme nicht an die achteckige Form des FCAL's bzw. RCAL's angepaßt werden können, bleiben die Bins an den Ecken der Histogramme, zu denen es keine Zellen gibt, leer (=0).

Außerdem wird für jede Zelle die Zahl der Ereignisse gespeichert, in denen die Energie unterhalb von 100 MeV lag, z. B. Abbildung 7.3 für die EMC1-Zellen des FCAL's. In jedem Ereignis werden nur wenige Zellen von hochenergetischen Teilchen getroffen, so daß während eines Runs die meisten der 11834 Zellen nur einige Male oder gar nicht ansprechen. Die Zahl der Ereignisse mit $E < 100$ MeV ist deshalb für die meisten Zellen etwa gleich der Zahl der Ereignisse dieses Runs. Lediglich die Zellen in der Nähe des Strahlrohrs werden häufig von Teilchen aus Strahl-Restgas-Reaktionen getroffen und liegen dann über 100 MeV. Die Zahl der Ereignisse pro Zelle füllt weitere 15 Histogramme. In Ergänzung zu Abbildung 7.3 wird auch die Zahl der Ereignisse ermittelt, in denen die Zelle mehr als 100 MeV enthält. Die Summe dieser beiden Zahlen muß für jeden Kanal genau gleich der Zahl der Ereignisse in dem Run sein. Abbildung 7.5 zeigt das Histogramm für die RCAL EMC1-Zellen. Diese Form der Energiedeposition im RCAL ist nach [BEN90] typisch für Strahl-Gas-Ereignisse (siehe Kapitel 8).

Der Detektor wird während des Betriebes in regelmäßigen Abständen neu kalibriert. Dabei werden fast alle schadhafte Kanäle gefunden. Diese Kanäle werden in der „bad channel list“ zusammengefaßt und können bei der Auswertung entsprechend berücksichtigt werden. Außerdem wird bei der Datennahme die Energie aller bekannten schlechten Kanäle auf Null gesetzt. Um zu überwachen, ob dies wirklich geschieht, werden weitere Histogramme gefüllt, die hier aber nicht gezeigt sind. Die Zahl der bekannten schlechten Kanäle schwankt zwischen 300 und 400.

Um möglichst wenige Informationen zu verlieren, versucht man, die Zellen mit nur einem schlechten Kanal zu retten, indem Energie und Zeit des guten Kanals in den schlechten kopiert werden. Dies geschieht ganz zu Anfang der Analyse, so daß diese Kanäle nicht mehr als schlecht erkannt werden.

Neben den schlechten Kanälen liefert auch das Rauschen in den guten Kanälen ab und zu $E=0$, da die Energie in einem 24 Bit Integer-Ausdruck gespeichert wird. Bei einem Energieintervall von 0 bis 400 GeV werden Energien bis ca. ± 1 keV auf Null gerundet. Die Anzahl der Kanäle mit $E=0$ pro Ereignis ist in Abbildung 7.4 aufgetragen. Sie liegt zwischen 200 und 300.

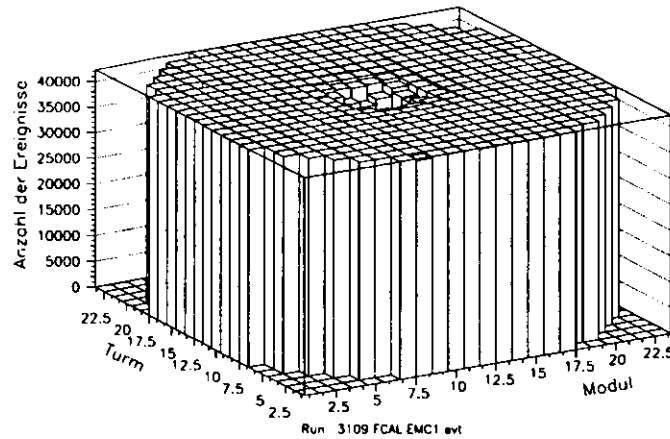


Abbildung 7.3: Anzahl der Ereignisse mit $E < 100$ MeV in den FCAL EMC1-Zellen

Die mittlere Energie und σ_E werden dazu verwendet, weitere schlechte Kanäle zu finden. Drei Abfragen haben sich bewährt:

Mittlere Energie kleiner als -100 MeV? Die mittlere Energie sollte etwa bei 0 MeV liegen, deutlich abweichende Werte lassen auf einen Fehler in der Kalibration schließen.

Standardabweichung kleiner als 3 MeV? Da alleine das σ_E der Elektronik und der Photomultiplier bei 3 MeV liegt, zeigt ein kleineres σ_E in der Regel einen toten Kanal an, oft ist das σ_E dann exakt gleich Null, und der Kanal liefert für alle Ereignisse dieselbe Energie.

Ist die Energie eines Kanals für mehr als 10 % der Ereignisse gleich Null? Da die Energie in einem 24 Bit Integer-Wort ausgelesen wird, kommen durch die Rundung ab und zu Energien exakt gleich Null vor. Wenn dies jedoch zu häufig geschieht, ist der Kanal zeitweise oder ganz tot. Alle Kanäle, die für mehr als 10 % der Ereignisse $E=0$ liefern, werden in einer Liste ausgegeben.

Diese Abfragen werden für alle Kanäle durchgeführt, und die möglicherweise schlechten Kanäle in der entsprechenden Liste ausgegeben. Die bekannten schlechten Kanäle stehen dem Analyseprogramm zur Verfügung und werden in den Listen nicht nochmals ausgegeben. Dadurch werden die Listen wesentlich übersichtlicher.

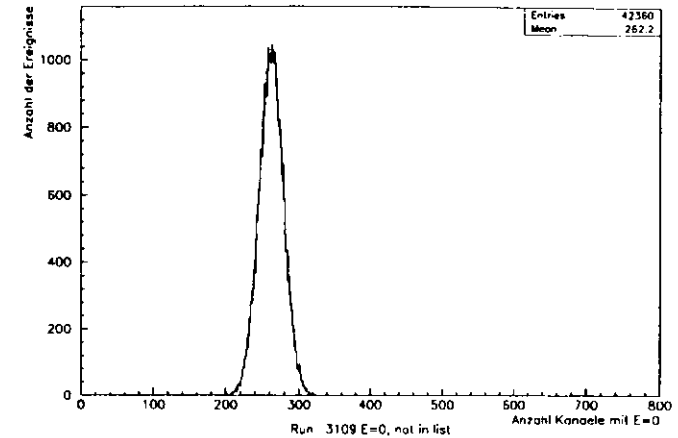


Abbildung 7.4: Auf der Abszisse ist aufgetragen, wieviele Kanäle in einem Ereignis $E = 0$ liefern, die Ordinate gibt die Anzahl der Ereignisse an.

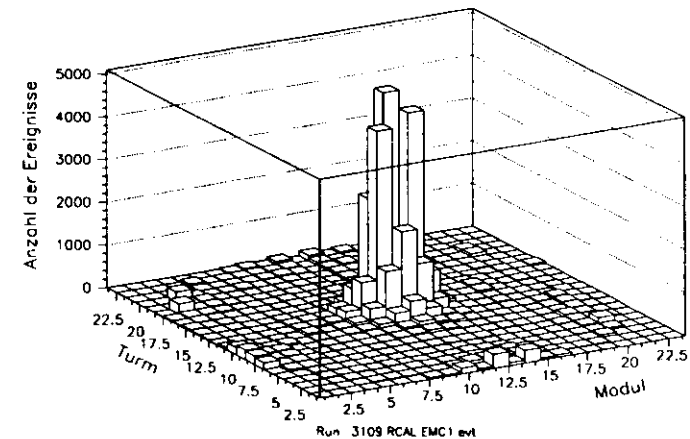


Abbildung 7.5: Anzahl der Ereignisse mit $E > 100$ MeV in den RCAL EMC1-Zellen

7.2 Asymmetrie

Jede Zelle wird mit zwei Photomultipliern ausgelesen, je ein Photomultiplier auf der rechten und linken Seite. Das Szintillatormaterial zwischen den Uranplatten absorbiert einen Teil des Lichtes. Wenn das Teilchen oder der Schauer nicht in der Mitte des Szintillators einschlägt, wird auf den unterschiedlich langen Wegen zu den Wellenlängenschiebern das Signal des einen Kanals stärker abgeschwächt als das des anderen. Ein Teilchen, das am Rand der Zelle nachgewiesen wird, erzeugt auf dieser Seite ein fast doppelt so großes Signal wie auf der anderen Seite. Die Asymmetrie für dieses Ereignis ist dann ca. $\pm 0,3$. Für eine große Zahl von Ereignissen sollte die Fläche der Zelle gleichmäßig bestrahlt werden und die Asymmetrie im Mittel verschwinden: $\langle A \rangle = 0$. Da manche Zellen im Laufe eines Runs aber nur einmal getroffen werden, ist die mittlere Asymmetrie für diese Zelle gleich der Asymmetrie dieses einen Ereignisses. Für ein Ereignis und damit auch für $\langle A \rangle$ sind Werte zwischen $+0,3$ und $-0,3$ möglich. Die Standardabweichung der Asymmetrie kann aus dem gleichen Grund ebenfalls bis $0,3$ reichen, für eine gleichmäßig bestrahlte Zelle erwartet man jedoch eine geringere Standardabweichung. Größere Asymmetrien und Standardabweichungen lassen auf schadhafte Kanäle oder Sparks (vergl. Kap. 7.3) schließen. Deshalb wird eine Liste mit allen Zellen ausgegeben, deren mittlere Asymmetrie größer als $0,4$ ist.

$$A_{\text{Zelle}} = \frac{E_{\text{links}} - E_{\text{rechts}}}{E_{\text{links}} + E_{\text{rechts}}}$$

E_{links} und E_{rechts} sind die im linken bzw. rechten Kanal der Zelle gemessenen Energien (vergl. S. 16). Die mittlere Asymmetrie $\langle A \rangle$ und ihre Standardabweichung σ_A werden aus allen Ereignissen N berechnet, in denen die Energie der betreffenden Zelle größer als 100 MeV war.

Mittlere Asymmetrie und Standardabweichung :

$$\langle A \rangle = \frac{1}{N} \sum_{\text{evt}=1}^N A_{\text{Zelle}, E > 100 \text{ MeV}} \quad \sigma_A = \sqrt{\frac{\sum_{\text{evt}=1}^N A_{\text{Zelle}, E > 100 \text{ MeV}}^2 - \langle A \rangle^2}{N - 1}}$$

Die mittlere Asymmetrie und die Standardabweichung der Asymmetrie wird für jede Zelle ermittelt und in Histogrammen, wie z. B. Abbildung 7.6 und Abbildung 7.7, gespeichert. Abbildung 7.6 zeigt die mittlere Asymmetrie der FCAL EMC1-Zellen, Abbildung 7.7 die Standardabweichung. Für diese beiden Größen werden je 15 Histogramme gefüllt.

Die Asymmetrie wird auch dazu verwendet, die Ortsauflösung des Kalorimeters zu verbessern. Bei bekanntem Abschwächungsverhalten im Szintillator und den Wellenlängenschiebern kann prinzipiell der Ort berechnet werden, an dem das Teilchen bzw. der Schauer die Zelle getroffen hat. [JON92]

7.3 Sparks

Die Photokathode eines Photomultipliers liegt auf einer Spannung von -1500 V , zwischen der Kathode und den geerdeten Gehäuseteilen der magnetischen Abschirmung besteht damit ein starkes elektrisches Feld. Die im Kalorimeter eingesetzten Photomultiplier haben einen unerwartet hohen Leckstrom von einigen 10^{-9} A durch die Glasplatte vor der Photokathode. Diese Ladungen sammeln sich auf der Glasoberfläche und springen auf die geerdeten Gehäuseseiten, die sich in weniger als 1 mm Abstand befinden, über. Diese Funken (engl. sparks) lassen die Spannung an der Kathode zusammenbrechen und erzeugen in der Elektronik einen Strompuls, der von dem eines echten Ereignisses nicht zu unterscheiden ist. Der Strom entspricht dem Signal, das ein Teilchen mit einigen GeV erzeugen würde, und löst damit eine positive Triggerentscheidung aus. Diese Sparks treten rein zufällig, leider aber recht häufig (10^5 Hz) auf. Die Ursachen für Sparks und mögliche Gegenmaßnahmen werden in [MO91] ausführlich beschrieben.

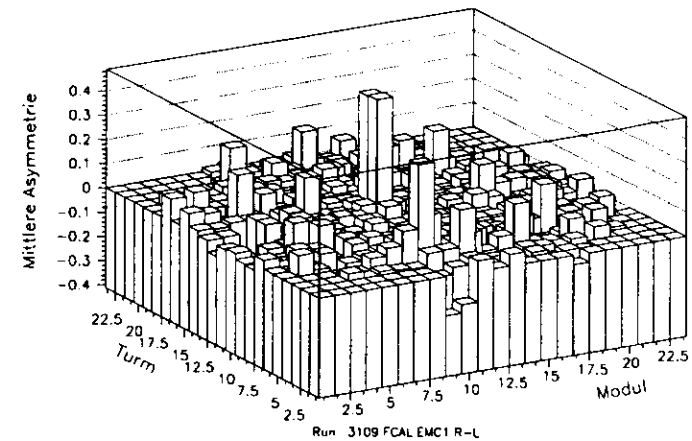


Abbildung 7.6: Mittlere Asymmetrie in den FCAL EMC1-Zellen

Jede Zelle wird von zwei Photomultipliern ausgelesen, deren Signale getrennt verarbeitet werden. Erst in der Datenanalyse werden beide Messungen zu einem Energie- bzw. Zeitwert zusammengefasst. Sparks treten immer nur in einem Photomultiplier der Zelle auf, dessen Signal ist dann im Vergleich zu dem richtig arbeitenden Photomultiplier wesentlich höher, die Asymmetrie in dieser Zelle ist groß. Die Asymmetrie wird zusammen mit der hohen Energie als ein Kriterium für Sparks verwendet.

Sparks stören, weil sie positive Triggerentscheidungen auslösen und damit die Ereignisrate so weit ansteigen lassen, daß die Datennahme nicht mehr Schritt halten kann. Deshalb ist bereits im Trigger ein Spark-Cut enthalten, der Ereignisse mit einem Betrag der Asymmetrie größer $0,9$ und Energien höher als $1,5 \text{ GeV}$ zurückweist.

Um die Wirkungsweise dieses Cuts zu simulieren und später zu testen, werden Histogramme mit der Asymmetrie aller Zellen gefüllt, deren Energie größer als $1,5 \text{ GeV}$ ist. Außerdem wird das Energiespektrum dieser Zellen aufgezeichnet. Ein zweiter Satz von 6 Histogrammen wird für die Zellen gefüllt, die zusätzlich noch einen Betrag der Asymmetrie größer als $0,9$ haben. Die Histogramme zeigen die Häufigkeit von Sparks im Vergleich zur Häufigkeit von hohen Energien in einer Zelle und das Energiespektrum der Sparks. Um besonders aktive Zellen zu finden, wird für jede Zelle mitgezählt, wie oft die Bedingung $E > 1,5 \text{ GeV}$ und $|A| > 0,9$ erfüllt ist. Zusätzlich wird die Energiesumme und die Summe aller Zeiten der Sparks für jede Zelle über den ganzen Run gebildet.

Die Asymmetrie einer Zelle wird in die Histogramme 7.8a, 7.9a oder 7.10a gefüllt, wenn die Energie in beiden Kanälen größer als $1,5 \text{ GeV}$ ist. Gleichzeitig wird die Energie in die Histogramme 7.8c, 7.9c oder 7.10c gefüllt. Die Asymmetrie der Sparks wird in die Histogramme 7.8b, 7.9b oder 7.10b gefüllt, und deren Energie in 7.8d, 7.9d oder 7.10d. Dieser Vorgang wird für alle Zellen des Kalorimeters und für alle Ereignisse des Runs durchgeführt. Die Zahl der Einträge in den Histogrammen ist so gleich der Anzahl der Sparks in diesem Run. Die Abbildungen 7.8d, 7.9d oder 7.10d zeigen die Energiespektren, die von „reinen“ Sparks erzeugt werden. Die meisten Sparks treten im FCAL und BCAL auf, die mittlere Energie der Sparks beträgt etwa $5 - 8 \text{ GeV}$, die maximalen Energien liegen über 100 GeV . In neueren Runs werden die meisten Sparks unterdrückt, die maximalen Energien liegen dann unter 60 GeV .

Das starke Maximum bei $A=0$ in den Abbildungen 7.8a und 7.9a wird durch schlechte Kanäle

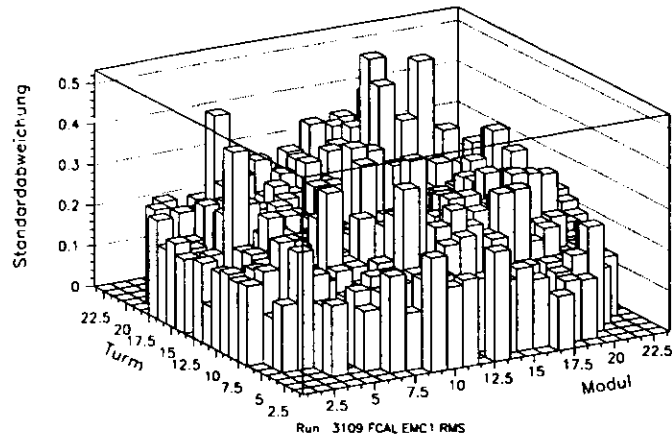


Abbildung 7.7: Standardabweichung der Asymmetrie in den FCAL EMC1-Zellen

verursacht. Für alle Zellen mit einem schlechten Kanal wird die Energie des guten Kanals in den schlechten kopiert. Die Asymmetrie dieser Zellen ist dann Null. Wenn die guten Kanäle dieser Zellen mehr als 0,7 GeV messen, erfolgt in den Histogrammen ein Eintrag bei $A=0$. Im Run 3109 hatte das FCAL vier schlechte Kanäle in den Türmen direkt am Strahlrohr, die schlechten Kanäle des RCAL's lagen dagegen weiter außen. Das BCAL hatte insgesamt 122 schlechte Kanäle. Wenn die bekannten schlechten Kanäle übersprungen werden verschwinden die Maxima.

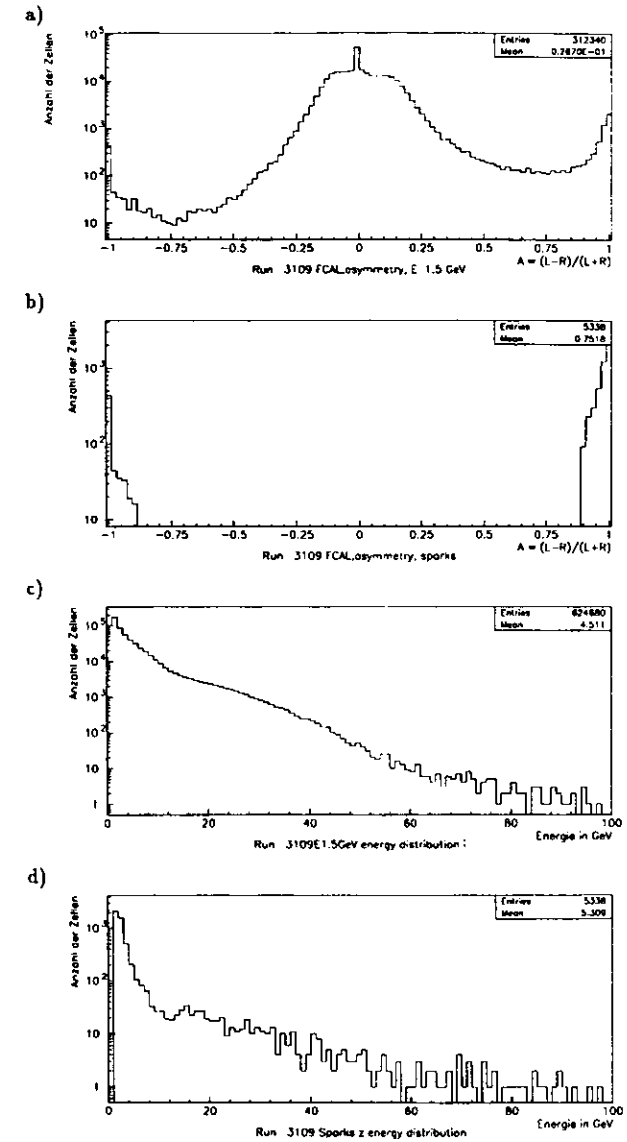


Abbildung 7.8: FCAL : a) Asymmetrie aller Zellen mit $E > 1,5$ GeV b) Asymmetrie der Sparks ($E > 1,5$ GeV und $|A| > 0,9$) c) Energiespektrum der Zellen mit mehr als 1,5 GeV d) Energiespektrum der Sparks

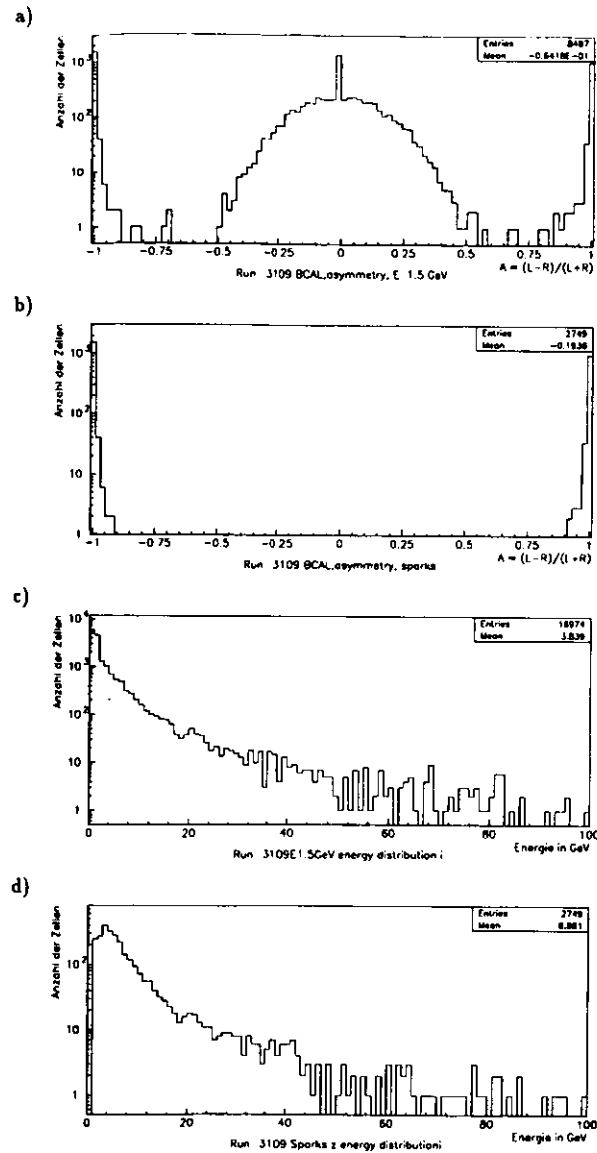


Abbildung 7.9: BCAL : a) Asymmetrie aller Zellen mit $E > 1,5$ GeV
 b) Asymmetrie der Sparks ($E > 1,5$ GeV und $|A| > 0,9$) c) Energiespektrum der Zellen mit mehr als 1,5 GeV d) Energiespektrum der Sparks

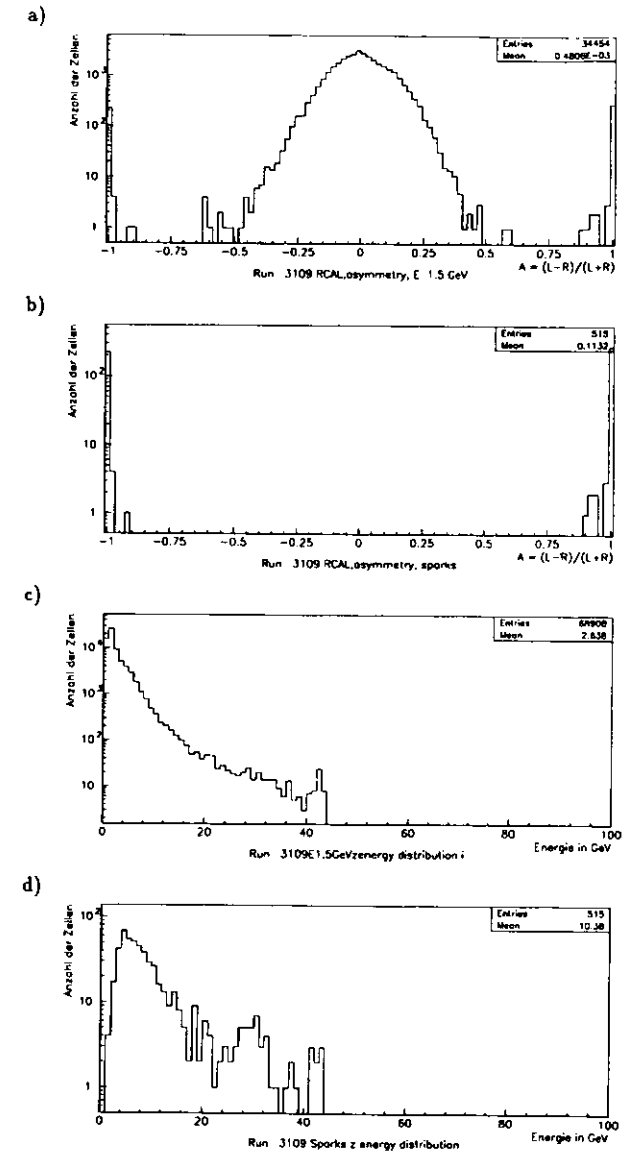


Abbildung 7.10: RCAL : a) Asymmetrie aller Zellen mit $E > 1,5$ GeV
 b) Asymmetrie der Sparks ($E > 1,5$ GeV und $|A| > 0,9$) c) Energiespektrum der Zellen mit mehr als 1,5 GeV d) Energiespektrum der Sparks

7.4 Das Zeit-Signal

Das Kalorimeter mißt in jeder Zelle die Energie und die Zeit. Die Zeitaufösung beträgt ca. 1 ns. Bei einer Länge von über sechs Metern brauchen lichtschnelle Teilchen etwa 16 ns, um das ganze Kalorimeter parallel zur Strahlachse zu durchqueren. Damit kann alleine durch den Vergleich der Ankunftszeiten in verschiedenen Kalorimeterkomponenten der Ort einer Wechselwirkung etwa bestimmt werden, Untergrundreaktionen, die außerhalb des Detektors stattfinden und mit den Teilchenstrahlen korreliert sind, lassen sich so erkennen.

7.4.1 Zeitauslese

Ein Photomultiplier liefert ein Signal, das proportional zum im Szintillator erzeugten Licht bzw. zur deponierten Energie ist. Aus der Pulsform (Shape) des Signals kann sowohl die Energie als auch die Zeit, bezogen auf einen Referenzzeitpunkt (Bunch Crossing), bestimmt werden. Die Pulshöhe wird an verschiedenen Punkten gemessen (Sampling) und in eine Zeit umgerechnet. Die Genauigkeit hängt von der Steigung des Photomultipliersignals ab, die Steigung wächst mit zunehmender Energie. Je größer die Steigung bzw. die Energie ist, desto genauer ist die Zeitmessung. Für kleine Energien ($E < 100$ MeV) kann die Zeit nicht mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden, für $E > 15$ GeV ist die Zeitaufösung besser als 1 ns [KRU92].

Für jede Zelle wird die mittlere Zeit und die Standardabweichung der Zeit ausgerechnet. Für die Zellen, deren Energie in allen Ereignissen eines Runs unter dem Schwellenwert liegt, erfolgt kein Eintrag in das jeweilige Histogramm. $\langle t \rangle$ und σ_t der betreffenden Zelle sind dann gleich Null. Da die Zeitbestimmung selbst für $E > 100$ MeV mit einem relativ großen Fehler behaftet ist, wird ein zweiter Satz von Histogrammen für $E > 1$ GeV gefüllt. Im Gegensatz zum nächsten Abschnitt (S. 42) wird hier nur die einfache Zeit, nicht die energiegewichtete Zeit verwendet. Die Abbildungen 7.11 und 7.12 zeigen die mittlere Zeit und deren Standardabweichung für $E > 100$ MeV, die Abbildungen 7.13 und 7.14 zeigen die gleichen Größen für $E > 1$ GeV. Als Beispiel dient jeweils die EMC1-Sektion des FCAL's.

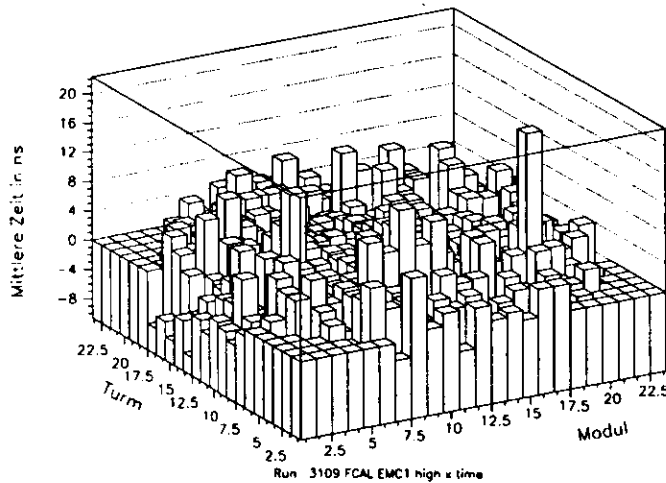


Abbildung 7.11: Mittlere Zeit in den FCAL EMC1-Kanälen, $E_{Zelle} > 100$ MeV

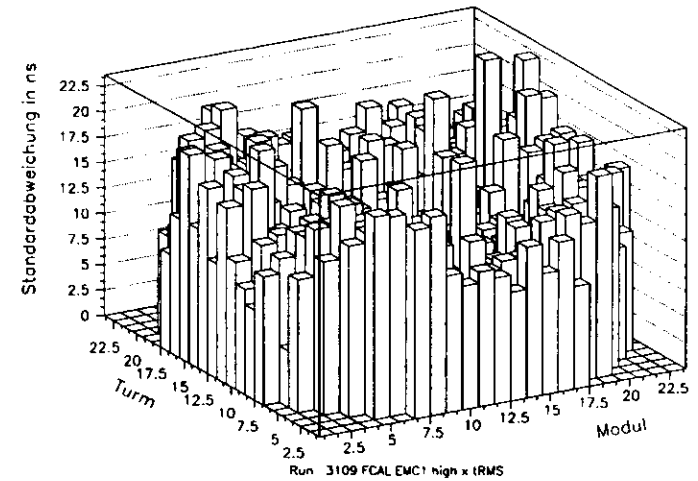


Abbildung 7.12: Standardabweichung σ_t der Zeit in den FCAL EMC1-Kanälen für $E_{Zelle} > 100$ MeV

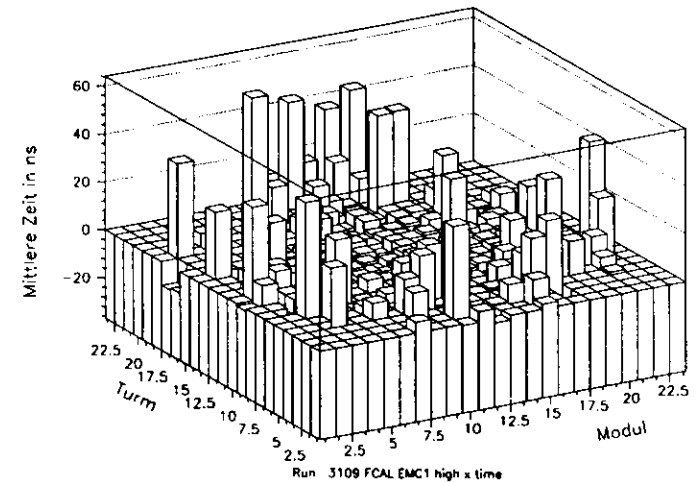


Abbildung 7.13: Mittlere Zeit in den FCAL EMC1-Kanälen, $E_{Zelle} > 1$ GeV

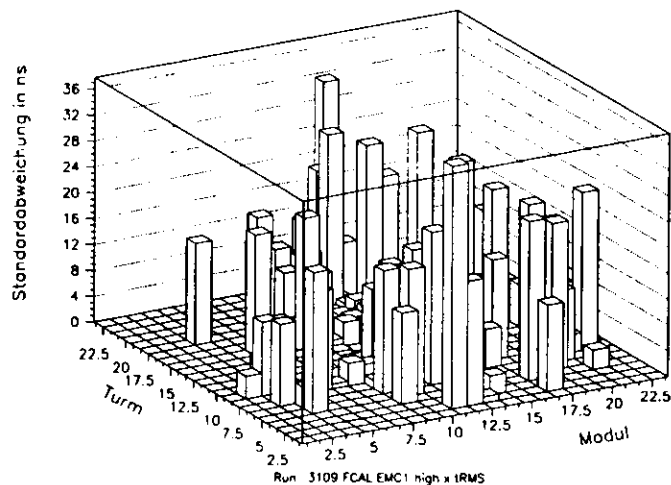


Abbildung 7.14: Standardabweichung der Zeit σ_t für $E_{Zelle} > 1$ GeV

7.4.2 Timing von Ereignissen

Der Zeitnullpunkt für jede Messung ist die Teilchenkollision im Wechselwirkungspunkt. Jedem aus-gelesenen Signal wird eine Zeit in Nanosekunden vor oder nach der letzten e-p-Kollision zugeordnet. Der Zeitpunkt eines Ereignisses in einer Kalorimeterkomponente ergibt sich aus der mittleren Zeit aller Zellen, die angesprochen haben. Damit ist es möglich zu bestimmen, wann die Teilchen einer e-p-Reaktion das FCAL oder das RCAL erreichen.

Die Laufzeiten des Strahls im Detektor sind in Abbildung 7.15 dargestellt. Der Protonenstrahl erreicht das RCAL 5 ns vor der Wechselwirkung ($t = -5$ ns) und das FCAL 13 ns später, also 8 ns nach der Wechselwirkung ($t = +8$ ns), da der Wechselwirkungspunkt wegen des asymmetrischen Detektorbaus nicht in der Mitte liegt.

Die bei einer Reaktion entstehenden Teilchen erreichen das FCAL etwa gleichzeitig mit dem Protonenstrahl, d.h. nach 8 ns, im RCAL kommen sie nach 5 ns an. Um die spätere Interpretation der Daten zu vereinfachen, wird nicht der Zeitpunkt der Wechselwirkung aufgezeichnet, sondern der Zeitpunkt, zu dem die aus einer Kollision stammenden Teilchen die jeweilige Komponente erreicht haben können. Dabei werden die unterschiedlichen Entfernungen der verschiedenen Zellen vom Wechselwirkungspunkt berücksichtigt. Die Geometriekorrektur ist nötig, da ein Teilchen mit Lichtgeschwindigkeit 30 cm in 1 ns zurücklegt, bei Detektorabmessungen von ca. 6 m ergeben sich für Teilchen, die unter verschiedenen Winkeln emittiert werden, Laufzeitdifferenzen von bis zu 2 ns. Durch die sofortige Korrektur und Normierung der Zeit muß man sich bei der Datenauswertung nicht mehr um die Detektorgeometrie oder die absolute Zeit der Wechselwirkung kümmern. Alle Teilchen, die aus einer e-p-Reaktion stammen, werden mit der Zeit $t=0$ aufgezeichnet.

Mit dieser Zeitdefinition erreichen alle mit dem Protonenstrahl korrelierten Ereignisse das FCAL zu $t=0$, unabhängig, ob es sich um Untergrund oder physikalisch interessante Ereignisse handelt. Die eigentliche Zeitinformation steckt im RCAL-Timing. Der Protonenstrahl erreicht das RCAL 5 ns vor der Wechselwirkung und damit 10 ns, bevor Teilchen aus einer e-p-Reaktion dort eintreffen könnten. Mit dem Protonenstrahl korrelierter Untergrund hat damit die Zeit $t = -10$ ns im RCAL und $t=0$ im FCAL. Teilchen, die aus einer e-p-Wechselwirkung stammen, müssen etwa zu $t=0$ im FCAL und RCAL ankommen, Teilchen mit anderem Zeitverhalten stammen mit Sicherheit aus dem Untergrund. Dieser „Timing-Cut“ wird bereits im Trigger zur Unterdrückung von Untergrundereignissen verwendet. Der Cut unterdrückt auch den größten Teil der kosmischen Myonen, auf die zur Detektoreichung getriggert wird. Die Rate kosmischer Teilchen ist aber so hoch, daß in den akzeptierten Ereignissen trotzdem noch genügend Myonen vorhanden sind. Durch den Vergleich der Ankunftszeiten in FCAL und RCAL kann der Wechselwirkungspunkt der Reaktion grob bestimmt werden.

Reaktionen im Detektor Alle Reaktionen, die innerhalb des Detektors stattfinden, haben ein RCAL-Timing von $-10\text{ ns} < t < +16\text{ ns}$. Dabei entspricht $t < +16$ ns einer Reaktion nahe am FCAL und $t > -10$ ns einer kurz vor dem RCAL. Ereignisse aus e-p-Reaktionen sollten bei $t=0$ ns stattfinden, durch eine Bunch-Länge von über 30 cm oder Abweichungen in der Strahl-einstellung von HERA sind aber Differenzen von etwa ± 1 m möglich. Im Sommer 1992 wurden alle Ereignisse mit $-6\text{ ns} < t_{FCAL} - t_{RCAL} < +6$ ns akzeptiert, entsprechend einer Abweichung von knapp einem Meter.

Reaktionen vor dem Detektor Strahl-Restgas-Wechselwirkungen finden überall im Strahlengang von HERA statt, im Detektor können Reaktionen aus einem Bereich von bis zu -90 m nachgewiesen werden. Dieser Untergrund wird zu einem großen Teil durch den „Timing-Cut“ unterdrückt. Teilchen aus diesen Reaktionen durchqueren den ganzen Detektor. Sie treten bei $t = -10$ ns in das RCAL ein und verlassen das Kalorimeter zu $t=0$ ns. Damit ist $t_{FCAL} - t_{RCAL} = 10\text{ ns} > +6$ ns, und das Ereignis wird verworfen.

Reaktionen unterhalb des Detektors Ereignisse, die mit dem e^- -Strahl korreliert sind, treffen bei $t = -16$ ns im FCAL ein und verlassen zu $t=0$ das RCAL. Auch diese Ereignisse werden

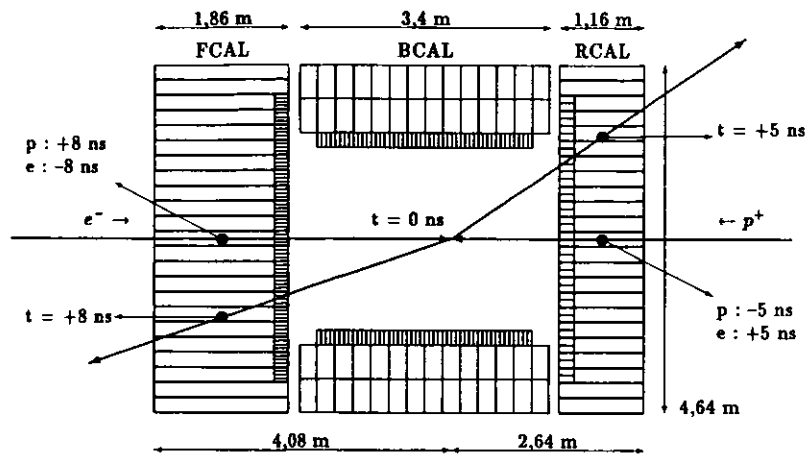


Abbildung 7.15: Laufzeiten im Kalorimeter. Die Zeitangaben beziehen sich auf den Zeitpunkt der Wechselwirkung

abgewiesen, sind aber wegen der geringeren Elektronenenergie sehr selten.

Die Zeitbestimmung ist um so genauer, je mehr Energie in einer Zelle deponiert wird, deshalb werden Zellen mit viel Energie höher gewichtet als Zellen mit geringer Energie. Die Zeit in einer Komponente ist die mit der Energie gewichtete Zeit

$$T = \frac{\sum_i E_i t_i}{\sum_i E_i}$$

Summiert wird jeweils über alle Zellen des FCAL's, BCAL's oder RCAL's, die mehr als 1 GeV enthalten. Die Zeit wird also über alle Zellen gemittelt. Die Verteilung der energiegewichteten Zeiten in jeder der drei Kalorimeter-Komponenten ist in den Abbildungen 7.18a-c dargestellt. Die Verteilung der Differenzen zwischen T_{FCAL} und T_{RCAL} ist in Abbildung 7.18d aufgetragen. Mit diesen Diagrammen wird die Güte des Zeit-Signals in den verschiedenen Komponenten überwacht.

Zur übersichtlichen Darstellung wird die Zeit in einer $T_{RCAL} - (T_{FCAL} - T_{RCAL})$ - Ebene aufgetragen. Die e-p-Reaktionen liegen dann etwa bei (0,0), Strahl-Gas-Ereignisse bei (-10,+10) und kosmische Myonen beliebig. Die Abbildungen 7.17 und 7.16 zeigen das Timing eines e-p-Runs mit einer Elektronenenergie von 26,7 GeV und einer Protonenenergie von 820 GeV. Die Ereignisse, die in dem 6 ns-Fenster um den Nullpunkt liegen, sind Kandidaten für e-p-Kollisionen, der Rest ist Untergrund. Die Abbildung 7.16 zeigt das Verhältnis von Untergrundereignissen zu e-p-Ereignissen nach dem Trigger. Der Untergrund liegt etwa fünf Größenordnungen über den physikalischen Ereignissen.

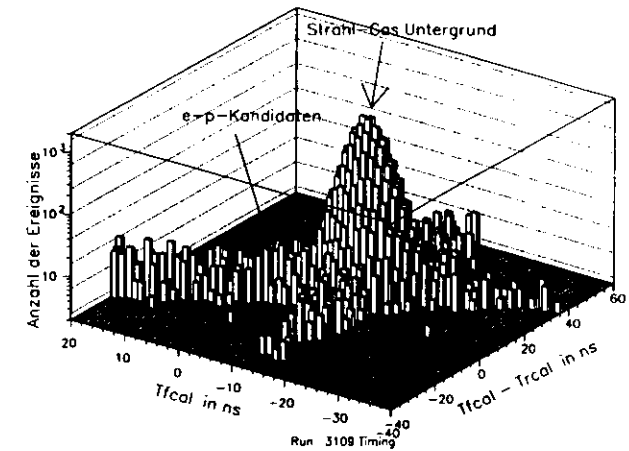


Abbildung 7.16: Timing aller Ereignisse des Runs 3109. Nur die Ereignisse, die in der Nähe von (0,0) liegen, können aus Elektron-Proton-Stößen stammen. Der Strahl-Gas-Untergrund liegt etwa bei (-10,+10).

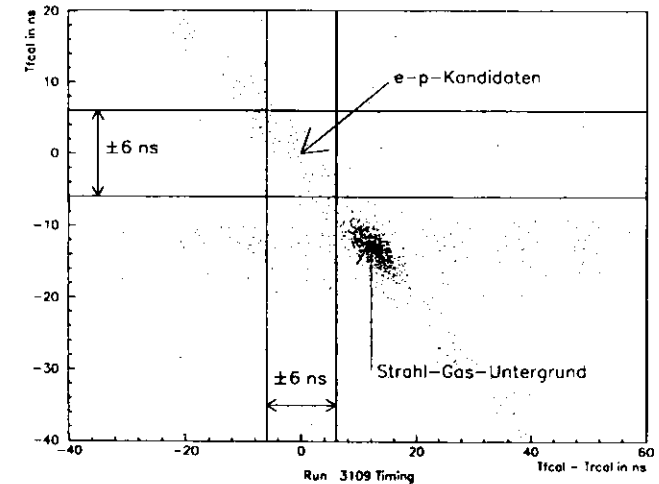


Abbildung 7.17: Diese Abbildung zeigt dasselbe Histogramm wie oben, die Zahl der Ereignisse ist hier jedoch durch die Dichte der Punkte dargestellt. Im Juli 1992 wurden alle Ereignisse selektiert, die in einem Fenster von ± 6 ns um (0,0) lagen.

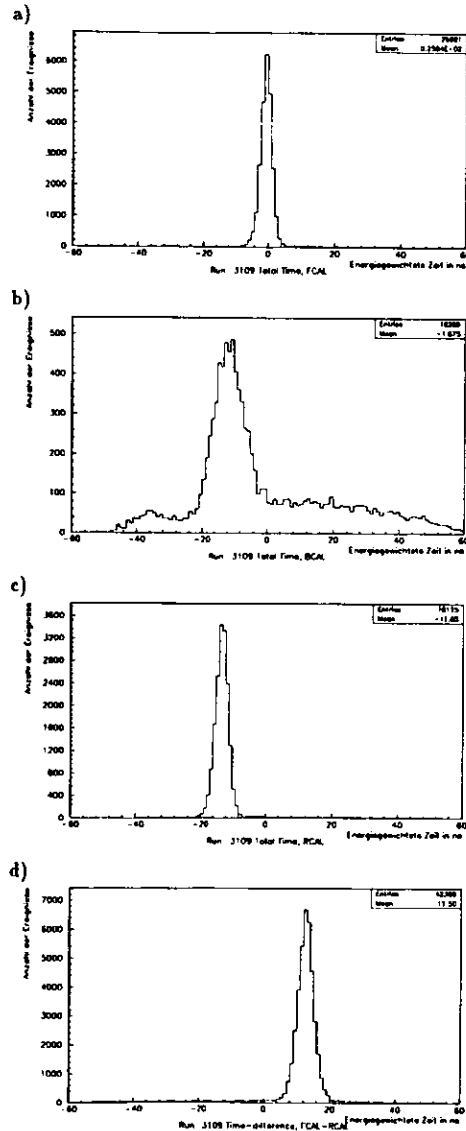


Abbildung 7.18: a) bis c) : Energiegewichtete Zeiten im FCAL, BCAL und RCAL. Das unterste Histogramm zeigt die Zeitdifferenz zwischen FCAL und RCAL.

7.5 Energiespektren

Jeder Typ von Wechselwirkungen erzeugt ein charakteristisches Energiespektrum im Kalorimeter, d.h. im Mittel ist der Anteil der Ereignisse, die in ein bestimmtes Energieintervall fallen, immer etwa gleich groß. Das gleiche gilt für die Transversalenergie und die fehlende Transversalenergie. Energiespektren spielen eine große Rolle bei der Selektion bzw. Unterdrückung bestimmter Ereignisklassen im Trigger (Kap. 8).

Die Trigger selektieren Ereignisse mit bestimmten Eigenschaften und bestimmen damit das Energiespektrum der aufgezeichneten Daten. Änderungen im Trigger erzeugen in der Regel ein neues Spektrum. Um die Auswirkungen dieser Änderungen zu überwatchen, wurden Histogramme mit folgenden Spektren in das Data-Validation-Programm aufgenommen:

Energiespektrum im FCAL, BCAL, RCAL und dem gesamten Kalorimeter, Transversalenergie und fehlende Transversalenergie.

7.5.1 Gesamtenergie

Die Gesamtenergie eines Ereignisses ist die Summe der Energien aller Zellen, die angesprochen haben. Energien kleiner als 100 MeV/Zelle werden als Rauschen betrachtet (vergl. Kap. 7.1), es wird deshalb nur über Zellen mit mehr als 100 MeV summiert. Die Gesamtenergie wird je für das FCAL, BCAL, RCAL und das gesamte Kalorimeter ausgerechnet. In den Abbildungen 7.21a-c und 7.22a sind die Energiespektren für den Run 3109 dargestellt, der mit dem in Kapitel 8.2 beschriebenen Trigger aufgezeichnet wurde.

7.5.2 Transversalenergie und fehlende Transversalenergie

Die Transversalenergie ist ein Maß dafür, wieviel Energie senkrecht zur Strahlachse emittiert wurde. Der Winkel θ einer Zelle zur Strahlachse wird vom Soll-Vertex bei $z=0$ aus gerechnet und ist $\theta_i = \arcsin \frac{\sqrt{x_i^2 + y_i^2}}{r}$, r ist der Abstand Zelle - Vertex, vergl. Abbildung 7.20. Alle Koordinaten beziehen sich auf das ZEUS-Koordinatensystem (vergl. [HIL86] oder S. 16). Transversalenergie:

$$E_t = \sum_i E_i \sin \theta_i$$

Die fehlende Transversalenergie ist die vektorielle Summe der transversalen Energien. Sie ist sehr klein, wenn alle Teilchen aus einer Reaktion nachgewiesen werden können. Hinweise auf Teilchen, die kein Signal im Kalorimeter erzeugen, z. B. Neutrinos, ergeben sich indirekt aus ihrer fehlenden Transversalenergie.

$$P_x = \sum_i E_i \sin \theta_i \cos \phi_i = \sum_i E_i \frac{x_i}{r_i}$$

$$P_y = \sum_i E_i \sin \theta_i \sin \phi_i = \sum_i E_i \frac{y_i}{r_i}$$

$$E_t^{miss} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

$\phi = \alpha - \frac{\pi}{2}$ ist der Azimut-Winkel in der Ebene senkrecht zur Strahlachse, die durch den Nullpunkt geht (Abb. 7.20). Die Abbildungen 7.22b,c zeigen E_t und E_t^{miss} desselben Runs wie oben.

7.5.3 Winkelverteilung

In der Ebene senkrecht zur Strahlachse ist keine Richtung ausgezeichnet, die Energie sollte also rund um das Strahlrohr gleichmäßig verteilt sein. Abbildung 7.19 zeigt die Energieverteilung entlang α . Als Ort der Energiedeposition wird der Schwerpunkt der Energie, in die x-y-Ebene projiziert, betrachtet. Die Orientierung von α ist in Abbildung 7.20 dargestellt.

Das Maximum auf der rechten Seite (außen) wird wahrscheinlich durch den C4-Kollimator verursacht, der in den Strahlengang hineinreicht und Streustrahlung erzeugt.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{P_y}{P_x}\right) + \pi \left(1 - \frac{1}{2} \frac{P_x}{|P_x|}\right) = \phi + 90^\circ$$

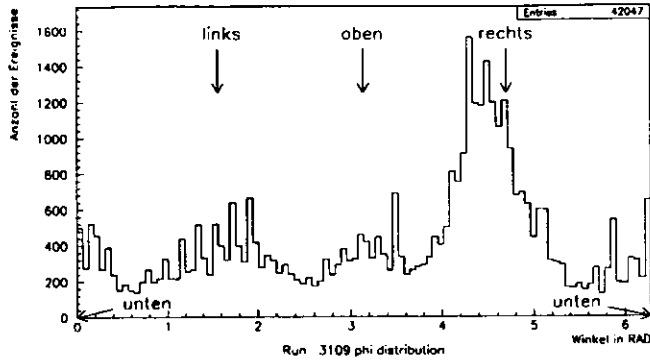


Abbildung 7.19: Winkelverteilung der Energiedeposition um das Strahlrohr. Die Außenseite von HERA ist rechts, links ist innen. Die Anzahl der Ereignisse ist über dem Winkel α aufgetragen, der gegenüber dem Azimut-Winkel ϕ um $\pi/2$ verschoben ist.

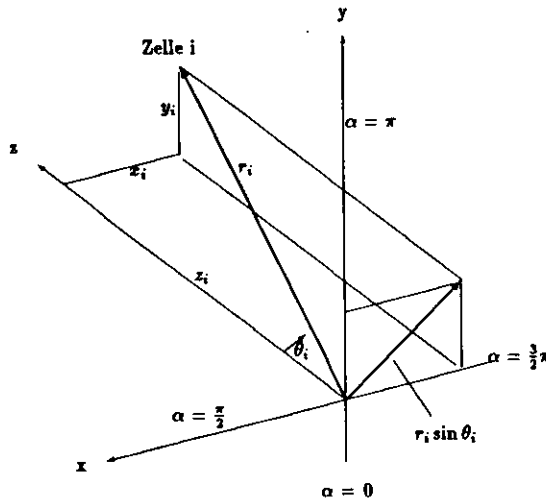


Abbildung 7.20: Projektion einer Zelle in eine Ebene senkrecht zum Strahlrohr.

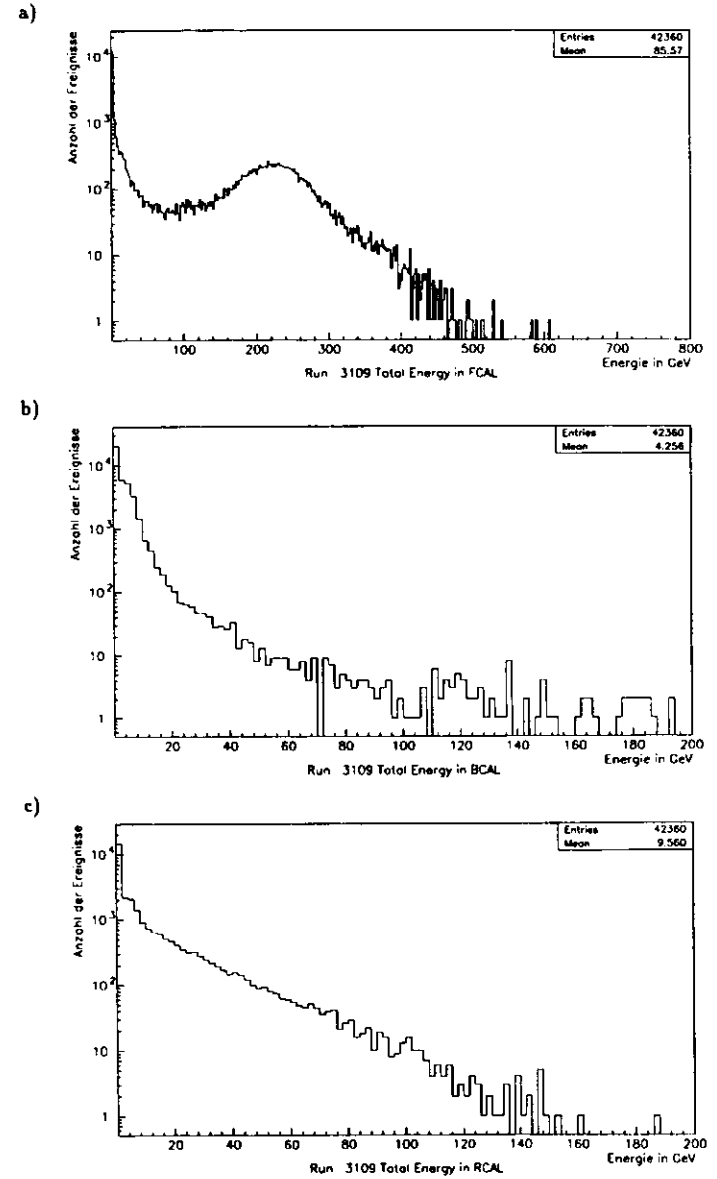


Abbildung 7.21: Energieverteilungen im a) FCAL, b) BCAL und c) RCAL

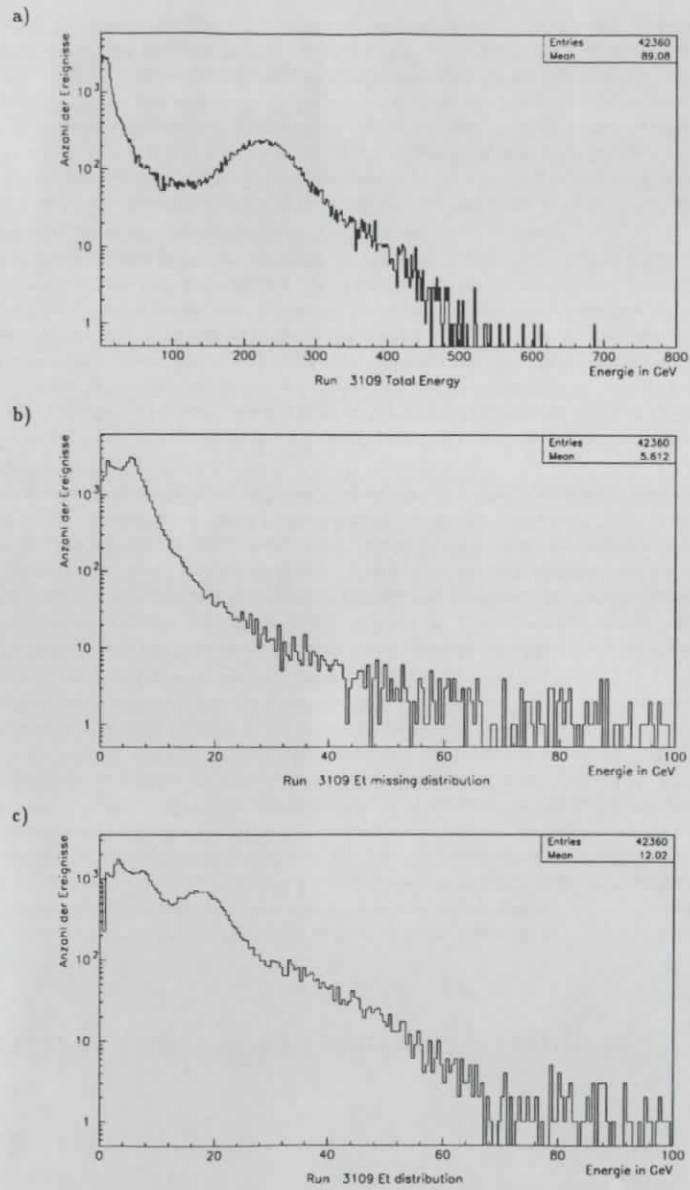


Abbildung 7.22: a) Energieverteilung im gesamten Kalorimeter b) Transversalenergie c) fehlende Transversalenergie

Kapitel 8

Strahl-Gas-Wechselwirkungen

Die Elektronen und Protonen im HERA-Speicherring kreisen in zwei getrennten, evakuierten Strahlrohren. Das Protonenstrahlrohr zwischen den Wechselwirkungszonen ist von supraleitenden Magneten umgeben und hat eine Temperatur von ca. 4 K. Bei dieser niedrigen Temperatur kondensiert der größte Teil des Restgases an den Rohrwänden, der Druck beträgt etwa 10^{-11} mbar. Vor den Wechselwirkungszonen werden die beiden Strahlen so umgelenkt, daß sie im Wechselwirkungspunkt frontal zusammenstoßen. In diesen Bereichen befinden sich beide Strahlen in einem Strahlrohr von etwa 6 cm Durchmesser, das sich auf Raumtemperatur befindet. Der Druck steigt dort auf ca. 10^{-9} mbar an, die Teilchendichte beträgt etwa $2,5 \cdot 10^7$ Moleküle pro cm^3 , im Vergleich zu ca. 10^{19} Molekülen pro cm^3 in der Atmosphäre. Das Strahlrohr sollte sowenige Teilchen wie möglich enthalten, da die hochenergetischen Teilchen des Strahls mit den Gasmolekülen wechselwirken und dabei aus dem Strahlengang herausgestreut werden. Dadurch wird die Lebensdauer des Strahls begrenzt.

Die Wechselwirkung des Protonenstrahls mit den Kernen des Restgases ist eine der stärksten Quellen für Untergrundstrahlung, so daß der größte Teil der im Detektor registrierten Teilchen nicht aus e-p-Reaktionen, sondern aus dem Untergrund stammt. Der Protonenstrahl wechselwirkt mit den Kernen der Gasmoleküle, dabei werden hochenergetische Teilchen, überwiegend Pionen, Neutronen und Protonen, aus der Strahlrichtung herausgestreut. Diese Teilchen reagieren teilweise mit dem Material außerhalb des Strahlrohres und erzeugen in Sekundärreaktionen eine große Zahl von neuen Teilchen, u. a. Myonen. Dadurch entsteht ein mit dem Protonenstrahl korrelierter Untergrund, der im Detektor sichtbar ist.

Die Rate der Untergrundeignisse im Detektor ist insgesamt ca. 5 Größenordnungen höher als die zu erwartende Rate physikalisch interessanter Ereignisse (vergl. Abb. 7.16 auf S. 40). Neben dem Strahl-Gas-Untergrund gibt es den Strahl-Halo, der aus Teilchen besteht, die geringfügig von der Sollbahn abweichen. Diese Teilchen kollidieren irgendwann mit der Wand des Strahlrohres oder mit einem der Kollimatoren und erzeugen dabei Sekundärstrahlung. Erste Messungen im Oktober 1991 [LOH92] ergaben, auf den vollen Strahlstrom hochgerechnet, Raten von 100 kHz bis 200 kHz für Strahl-Gas-Wechselwirkungen und 200 kHz bis 1200 kHz für den Strahl-Halo-Untergrund. Die natürliche Höhenstrahlung trifft den Detektor mit einer Rate von ca. 5 kHz. Die von den Elektronen emittierte Synchrotronstrahlung ist eine starke Quelle hochenergetischer Photonen.

Um die wenigen physikalisch interessanten Ereignisse aus diesem Untergrund herausfiltern zu können und gleichzeitig die Rate der Datennahme unter 10 Hz zu halten, wurde der Untergrund sehr genau untersucht. Zu diesem Zweck wurden die verschiedenen Reaktionen mit Monte Carlo Generatoren simuliert und die so entstandenen Verteilungen mit denen aus ebenfalls simulierten e-p-Reaktionen verglichen [SBE90]. Damit wurden Algorithmen entwickelt, die Untergrundeignisse zurückweisen, ohne physikalische Ereignisse zu unterdrücken. In diesem Kapitel wird untersucht, wie gut die simulierten Daten des Strahl-Restgas-Untergrundes mit den wirklichen übereinstimmen. Dabei wird davon ausgegangen, daß der überwiegende Teil der im Juli aufgezeichneten Daten aus Strahl-Gas-Reaktionen stammt.

8.1 Monte Carlo Daten

Für den Vergleich stand eine große Zahl simulierter Ereignisse zur Verfügung (Tabelle 8.1). Dabei wurden Strahl-Restgas-Reaktionen in verschiedenen Entfernungen z vom Wechselwirkungspunkt untersucht, wobei das Vorzeichen von z so gewählt ist, daß der p-Strahl von $-z$ nach $+z$ läuft. Der größte Teil der Ereignisse (145945) stammt aus einer Simulation des Bereiches von -100 m bis $+2$ m [SCH92]. Teilchen, die in einer Entfernung von mehr als 90 m entstehen, erreichen den Detektor nicht mehr; diese Simulation deckt also den gesamten für Strahl-Gas-Wechselwirkungen interessanten Bereich ab. Für die Bereiche kurz vor dem Detektor (-6 m bis -2 m) und im Detektor selber (-2 m bis $+2$ m) standen zwei weitere Simulationen mit je ca. 35000 Ereignissen zur Verfügung [NIK92]. Alle Simulationen gehen von einer flachen Verteilung der Strahl-Gas-Reaktionen aus, d.h. die Ereignisrate wird überall im Strahlrohr gleich hoch angenommen. Die Strahl-Restgas-Wechselwirkungen wurden mit dem

Z-Bereich	Ereignisse	selektierte Ereignisse	in %
$-2 \text{ m} < z < +2 \text{ m}$	35199	50	0,142 %
$-6 \text{ m} < z < -2 \text{ m}$	35999	496	1,380 %
$-100 \text{ m} < z < +2 \text{ m}$	145945	1449	0,993 %

Tabelle 8.1: Vom DAY1-Trigger selektierte Ereignisse

UA5-Generator simuliert. Dieser Generator ist speziell für hadronische Wechselwirkungen entwickelt worden und ist in der Lage, sowohl elastische als auch inelastische pp- bzw. pn-Wechselwirkungen zu beschreiben [JON90]. Die erzeugten oder gestreuten Teilchen werden durch die Magnetfelder des HERA-Beschleunigers bis zum ZEUS-Detektor verfolgt. MOZART simuliert schließlich die Wechselwirkungen in den einzelnen Komponenten des Detektors.

Bei der Simulation wurden alle Ereignisse gespeichert, die Spuren im Detektor erzeugt haben, die meisten dieser Ereignisse lösen jedoch keine positive Triggerentscheidung aus. Zum Vergleich mit den echten Ereignissen muß deshalb auch der Trigger mitsimuliert werden.

8.2 DAY1 - Trigger

In der ersten Betriebsphase des ZEUS-Detektors wurden die Daten mit dem „DAY1-Trigger“ genommen. Dieser Trigger ist speziell auf die Betriebsbedingungen im Juli 1992 ausgelegt [TOK92a]. Der Protonen- und der Elektronenring waren je mit zehn Teilchenpaketen gefüllt, zu Untergrundmessungen gab es ein zusätzliches elftes Elektronenpaket. Die Elektronen wurden auf eine Energie von 26,7 GeV beschleunigt, die Protonen auf 820 GeV, die Strahlströme lagen zwischen 1 mA und 2 mA für die Protonen und 1 mA bis 4 mA für die Elektronen. Die Luminosität betrug einige $10^{28} cm^{-2} s^{-1}$. Der DAY1-Trigger akzeptiert unter diesen Bedingungen ca. fünf Ereignisse in der Sekunde, bei einem größeren Teilchenstrom bzw. einer höheren Luminosität muß der Trigger modifiziert werden, damit die Ereignisrate nicht zu stark ansteigt.

Der DAY1-Trigger arbeitet ausschließlich auf der ersten Triggerebene (FLT); die nachfolgenden Trigger (SLT und TLT) liefern zwar, soweit sie schon einsatzfähig waren, mit, waren aber noch nicht an der Datenselektion beteiligt. Die Auswahl der Ereignisse wurde vom Kalorimeter-FLT getroffen; an der Suche nach kosmischen Myonen war außerdem noch der Barrel-Muon-FLT beteiligt. Der DAY1-Trigger besteht aus mehreren FLT-Subtriggern, jeder Subtrigger prüft, ob eine bestimmte Bedingung bzw. eine Kombination von Bedingungen erfüllt ist. Wenn das der Fall ist, wird das entsprechende Subtrigger-Bit auf „1“ gesetzt. Der DAY1-Trigger akzeptiert ein Ereignis, wenn mindestens ein Subtrigger-Bit gesetzt ist. Um auch Ereignisse aufzeichnen zu können, die sehr häufig auftreten und die Rate zu stark ansteigen lassen würden, kann jeder FLT-Subtrigger mit einem „Prescale-Faktor“ versehen werden. Dieser Faktor bestimmt, welcher Anteil der Ereignisse dieses Typs aufgezeichnet

werden soll. Ein Prescale-Faktor von z. B. 8 zeichnet jedes achte Ereignis dieses Typs auf. Subtrigger, die nicht an der Auslese beteiligt sind, erhalten einen Faktor 0.

Der Kalorimeter-FLT teilt die drei Komponenten des Kalorimeters in verschiedene Bereiche auf und prüft, ob die Summe der Energien aller Zellen eines Bereiches oberhalb eines Schwellenwertes liegt. Der innere Bereich des FCAL's und RCAL's umfaßt die Türme, die das Strahlrohr umgeben. Diese Zellen werden häufig vom Strahl-Gas- und Strahl-Halo-Untergrund getroffen, die Energieschwelle ist in diesen Bereichen deshalb am höchsten. In größerer Entfernung vom Strahlrohr ist die Untergrundrate wesentlich geringer, die Schwellenwerte liegen deshalb entsprechend niedriger.

Zur weiteren Reduktion des Untergrundes wird der C5-Zähler eingesetzt. Der C5-Zähler ist ein Szintillationszähler, der bei -3 m direkt am Strahlrohr angebracht ist. Er mißt den überwiegend vom Protonenstrahl erzeugten Untergrund. Teilchen, die den C5-Zähler auslösen, werden auch im RCAL und wahrscheinlich im FCAL ein Signal erzeugen, der Anteil der Untergrundeignisse kann also gesenkt werden, indem nur Ereignisse ausgelesen werden, für die der C5-Zähler nicht angesprochen hat (C5-Veto).

Region	EMC-Zellen	HAC-Zellen
FCAL Beampipe	50	70
FCAL inner	20	25
FCAL outer	10	10
BCAL all	2,5	1
RCAL non beampipe	2,5	30
RCAL beampipe	10	5

Tabelle 8.2: Energieschwellen der verschiedenen Regionen des Kalorimeters in GeV

FCAL und RCAL sind, entsprechend dem Abstand zum Strahlrohr, in drei bzw. zwei Bereiche aufgeteilt. Der innerste Bereich umfaßt nur die acht Türme, die das Strahlrohr direkt umschließen (weniger als 30 cm Abstand zum Strahlrohr). Das FCAL hat einen zweiten Ring um das Strahlrohr, der alle Türme mit Abständen zwischen 30 cm und 70 cm enthält und aus 40 Türmen besteht [TOK92b]. Das BCAL ist nicht unterteilt. Die Energieschwellen für die einzelnen Bereiche stehen in der Tabelle 8.2.

Der DAY1-Trigger besteht aus fünf Subtriggerern. Der Subtrigger „FCAL“ prüft, ob die Energie in mindestens einem Bereich des FCAL's über der jeweiligen Schwelle liegt, zwischen EMC- und HAC-Zellen wird dabei nicht unterschieden. Die EMC-Zellen aller drei Kalorimeterkomponenten werden von dem Subtrigger „EMC“ überwacht. Wenn die Energie der EMC-Zellen in mindestens einem Bereich des FCAL's, BCAL's oder RCAL's über dem dortigen Schwellenwert liegt, wird das EMC-Bit auf „1“ gesetzt. Diese beiden Subtrigger werden zusätzlich mit dem C5-Veto verknüpft. „FCAL*C5v“ und „EMC*C5v“ werden gesetzt, wenn zusätzlich zu der Bedingung „FCAL“ bzw. „EMC“ der C5-Zähler angesprochen hat. Der Subtrigger „Cal.any*BMU“ sucht nach kosmischen Myonen. Das entsprechende Bit wird gesetzt, wenn neben dem Kalorimeter auch der Barrel Muon Detektor angesprochen hat. Dieser Subtrigger akzeptiert neben den kosmischen Myonen eine große Zahl von Myonen aus dem Strahl-Halo. Deshalb wurde ab Run 3075 der Subtrigger „BCAL*VWout“ hinzugenommen, der mit Hilfe der Vetowand Halo-Myonen erkennen kann. Die Prescale-Faktoren und die Häufigkeit, mit der die einzelnen Subtrigger in den Runs 3003 und 3109 angesprochen haben, sind in Tabelle 8.3 dargestellt.

Der DAY1-Trigger hat nichts mit den Triggern zu tun, die in [BEN90], [SBE90] beschrieben werden. Es wird auch kein E_T -Cut durchgeführt.

FLT-Subtrigger	Prescale-Faktor	Run 3003	Run 3109
FCAL * C5v	1	12323	19893
EMC * C5v	1	25220	56683
EMC	4	28879	64911
FCAL	4	14978	23551
Cal.any * BMU	8 (2)	1783	5088
BCAL*VWout	1	-	7816

Tabelle 8.3: Prescale-Faktoren der FLT-Subtrigger. Mit dem Run 3075 wurde der Subtrigger „BCAL*VWout“ eingeführt und der Prescale-Faktor von „Cal.any*BMU“ auf 2 gesetzt. In den beiden hinteren Spalten steht, wie oft jeder Subtrigger angesprochen hat. Für ein Ereignis sprechen meist mehrere Subtrigger an.

8.2.1 Simulation des DAY1-Triggers

Um die simulierten Daten mit den echten vergleichen zu können, müssen die Ereignisse selektiert werden, die eine positive Triggerentscheidung ausgelöst hätten, die also vom DAY1-Trigger akzeptiert worden wären. Zur Simulation des DAY1-Triggers stehen die drei Routinen O1HSIN, O1HSEV und O1HSOU aus der ZGANAL-Library [UIJ92] zur Verfügung. Tabelle 8.1 zeigt den Anteil der vom Trigger akzeptierten Ereignisse. Insgesamt löst etwa 1 % der Strahl-Gas-Wechselwirkungen, die Spuren im Detektor erzeugen, eine positive Triggerentscheidung aus. Strahl-Gas-Ereignisse, die im Detektor stattfinden, werden zu einem wesentlich geringeren Anteil akzeptiert (0,14 %).

Die Abbildungen 8.1a-c zeigen die Verteilung der vom DAY1-Trigger akzeptierten Ereignisse entlang der Strahlachse. Diese Verteilungen stimmen gut mit [SBE90] überein, obwohl dort etwas andere Trigger simuliert wurden.

Die starke Zunahme der Ereignisse ab ca. -65 m wird nach [SBE90] durch eine Engstelle in dem Quadrupolmagneten bei -38 m verursacht. Teilchen aus Strahl-Gas-Wechselwirkungen unterhalb von -38 m treffen dort auf Gehäuse Teile und erzeugen eine große Zahl von Sekundärteilchen, die den Detektor erreichen. Der Anstieg bei ab -6 m wird wahrscheinlich durch den C5-Kollimator bei -3 m verursacht.

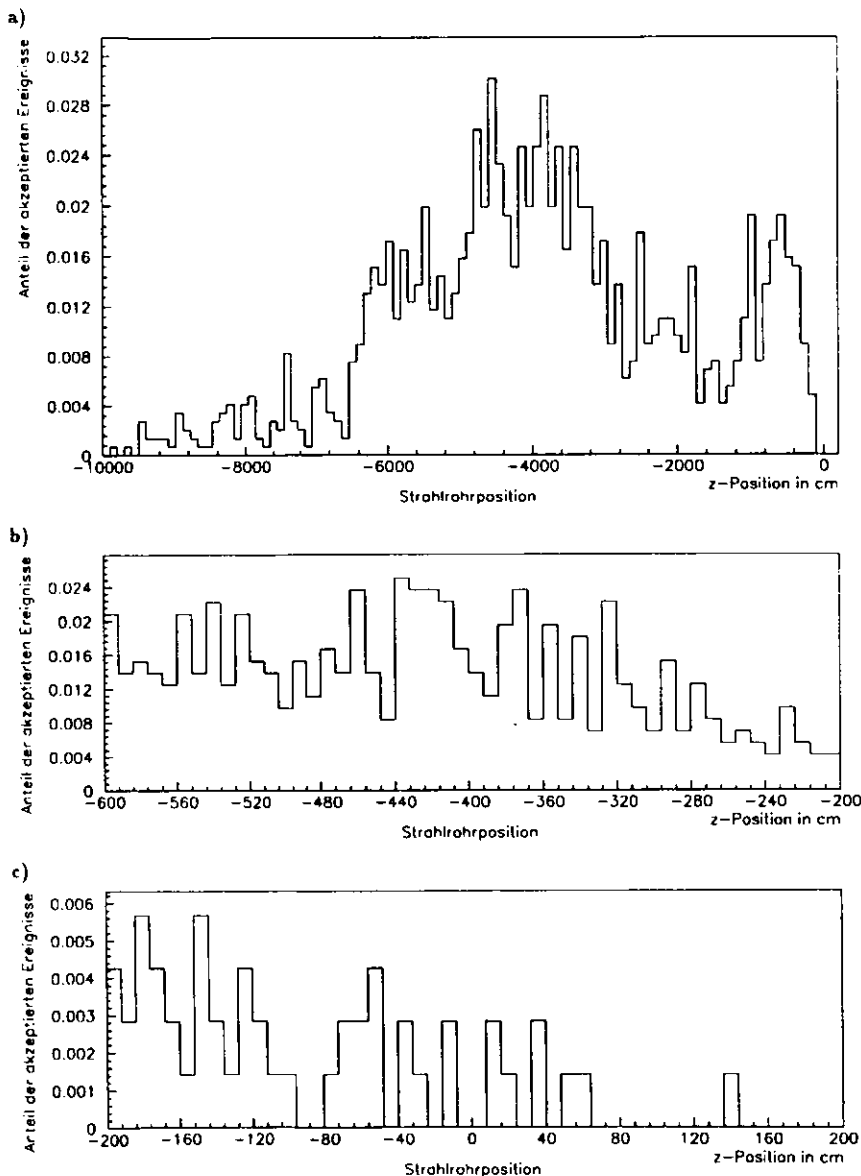


Abbildung 8.1: Verteilung des Entstehungsortes der simulierten Strahl-Gas-Ereignisse, die eine positive Triggerentscheidung auslösen. Entfernungen vom Wechselwirkungspunkt: a) -100 m bis +2 m b) -6 m bis -2 m c) -2 m bis +2 m

8.3 Rohdaten

Die Rohdaten enthalten verschiedene Typen von Ereignissen, während die simulierten Ereignisse reiner Strahl-Gas-Untergrund sind. Vor dem Vergleich der echten mit den simulierten Daten sollten also alle Ereignisse, die nicht zum Untergrund gehören, aus den Rohdaten entfernt werden. Die abgespeicherten Rohdaten enthalten neben den vom DAY1-Trigger akzeptierten Ereignissen noch Kalibrationsdaten, die während eines Runs in gewissen Abständen genommen werden. Diese „Test-Trigger“ werden wie in Kap. 7 übersprungen. Sparks (vergl. S. 29) und Kandidaten für kosmische Myonen werden ebenfalls nicht berücksichtigt.

Die restlichen Ereignisse sind überwiegend Untergrund. Abbildung 7.5 auf Seite 28 stimmt gut mit der Form überein, die für Strahl-Gas-Ereignisse simuliert wurde [BEN90].

Der DAY1-Trigger akzeptiert Strahl-Gas-Ereignisse, kosmische Myonen und einige e-p-Reaktionen, deren Anteil jedoch sehr gering ist. Zum Vergleich mit den Monte Carlo Strahl-Gas-Ereignissen sollten aus den Rohdaten nur die Strahl-Gas-Ereignisse verwendet werden. Der Anteil der e-p-Reaktionen ist so gering, daß er die Verteilungen nicht merklich verfälscht; die kosmischen Myonen mit einem erwarteten Anteil von 5-10% aller Ereignisse könnten aber einen merklichen Einfluß haben und sollten deshalb herausgefiltert werden.

8.3.1 Myonen

Der Anteil der Kandidaten für kosmische Myonen ist mit bis zu 14 % so hoch, daß er einen Einfluß auf die Energieverteilungen haben kann. Kosmische Myonen werden von dem Subtrigger „Cal.any*BMU“ identifiziert. Dieser Trigger könnte jedoch auch von Myonen aus dem Strahl-Gas-Untergrund ausgelöst werden. Um den Einfluß der Myonen abschätzen zu können, wurden die Energieverteilungen für Myonenkandidaten ermittelt. Die Energiespektren aller Ereignisse, in denen nur der Subtrigger „Cal.any*BMU“ angesprochen hat, sind für Run 3109 in den Abbildungen 8.2a-c zu sehen. Es wurden nur die Zellen berücksichtigt, deren Energie über 100 MeV lag.

Ein Myon, das den ganzen Detektor durchquert, sollte insgesamt etwa 8 GeV Energie im Kalorimeter deponieren. Die Verteilung in Abbildung 8.2b stimmt mit dieser Annahme gut überein.

Im Juli 1992 wurde eine Änderung im Trigger vorgenommen, die einen deutlichen Einfluß auf die Energiespektren hatte. Ab Run 3074 war der Trigger „BCAL*VWout“ aktiv, der den Untergrundanteil mit Hilfe der Vetowand gesenkt hat. Dieser Trigger hat keinen Einfluß auf die Energieverteilung der Myonen im BCAL, die Form der Verteilung sowie die mittlere Energie von ca. 3,3 GeV bleiben etwa gleich. Im FCAL und RCAL wird durch den Trigger jedoch der größte Teil der Ereignisse mit Energien größer als ca. 10 GeV abgewiesen. Die Mittelwerte im FCAL sinken von ca. 14 GeV (Run 3003) auf ca. 4,5 GeV (Run 3109) und im RCAL von 14 GeV auf knapp 9 GeV. Der neue Trigger senkt den Anteil der kosmischen Myonen - unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Prescale-Faktoren - um 2 % - 3 %.

Der Einfluss der Myonen auf die Energiespektren aller Ereignisse beschränkt sich auf kleine Energien bis ca. 10 GeV. In diesem Bereich haben sie einen Anteil von etwa 10 %. Bei höheren Energien ist ihr Einfluß verschwindend klein. Die Myonen sind in den Histogrammen des folgenden Abschnitts nicht mehr enthalten.

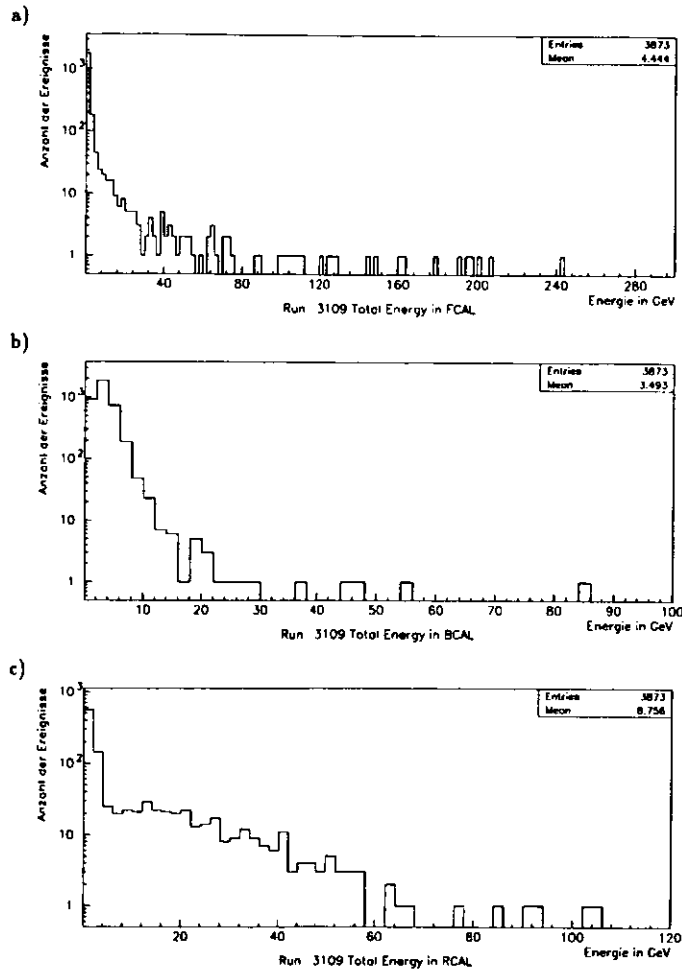


Abbildung 8.2: Energieverteilung der Myonen-Kandidaten im a) FCAL b) BCAL c) RCAL. Die Histogramme enthalten alle Ereignisse, in denen nur das Subtrigger-Bit „Cal.any*BMU“ gesetzt ist.

8.4 Vergleich der Messungen mit den simulierten Daten

Zum Vergleich der echten Daten mit denen aus Strahl-Gas-Reaktionen wurden nur die Messungen im Kalorimeter verwendet. Die folgenden Verteilungen wurden verglichen (vergl. Kap. 7.5) :

- Energieverteilung im FCAL, BCAL, RCAL und im gesamten Kalorimeter
- Transversalenergie
- Fehlende Transversalenergie

Diese Histogramme wurden je für die simulierten Daten aus den drei Abschnitten des Strahlrohrs (vergl. Tab. 8.1) und für die Runs 3003, 3017, 3068, 3106, 3107 und 3109 gefüllt. Die Energie in den einzelnen Kalorimeterkomponenten wurde aus allen Zellen bestimmt, deren Energie größer als 100 MeV war. Kleinere Energien wurden als Rauschen betrachtet und unterdrückt.

Um den Vergleich zu erleichtern, wurden die Flächen unter den Kurven auf eins normiert. Da die echten Daten im Gegensatz zur Simulation ein starkes Maximum bei kleinen Energien haben, wurden bei einigen Verteilungen die ersten ein oder zwei Bins nicht in die Normierung einbezogen. Die Abbildungen 8.3a-c und 8.4a-c zeigen die Energieverteilungen der simulierten Ereignisse zwischen -100 m und +2 m und der Runs 3003, 3109. Die Abweichungen zwischen Run 3003 und 3109 werden durch die im letzten Abschnitt beschriebene Änderung im Trigger verursacht. Die Verteilungen der Runs 3003, 3017 und 3068 bzw. 3106, 3107 und 3109 sind sich sehr ähnlich.

8.5 Ergebnisse

Die Verteilungen der simulierten Strahl-Gas-Ereignisse stimmen nicht mit denen der gemessenen Daten überein.

Die echten Daten haben ein ausgeprägtes Maximum bei kleinen Energien und ein Nebenmaximum bei ca. 225 GeV im FCAL. Die maximalen Energien liegen bei ca. 500 GeV im FCAL und 140 GeV im RCAL.

Die Simulation sagt dagegen Maxima bei 200 - 300 GeV im FCAL und ca. 50 GeV im RCAL vorher. Die maximalen Energien reichen bis 800 GeV im FCAL und bis 200 GeV im RCAL. Die Simulation ergibt damit einen Anteil von Ereignissen mit sehr hohen Energien, der nicht gemessen wird. Lediglich die Verteilungen im BCAL stimmen überein.

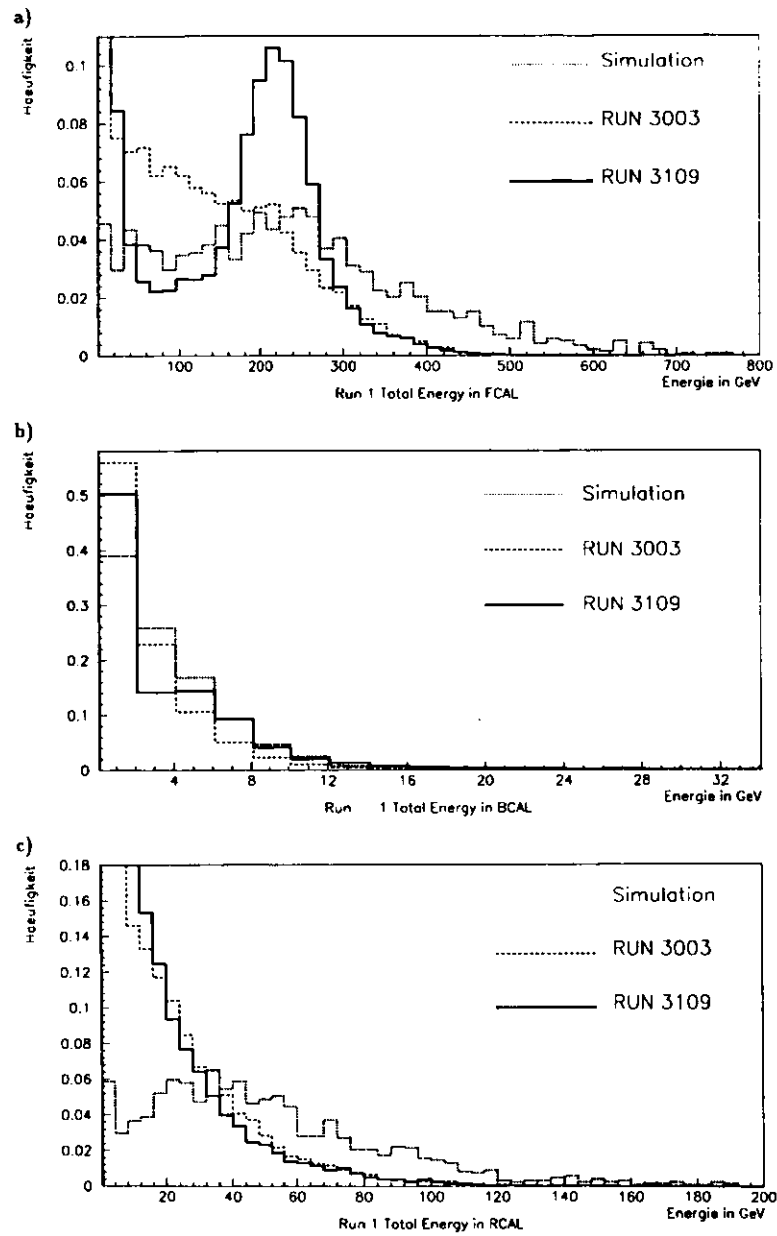


Abbildung 8.3: Energieverteilungen im a) FCAL b) BCAL und c) RCAL

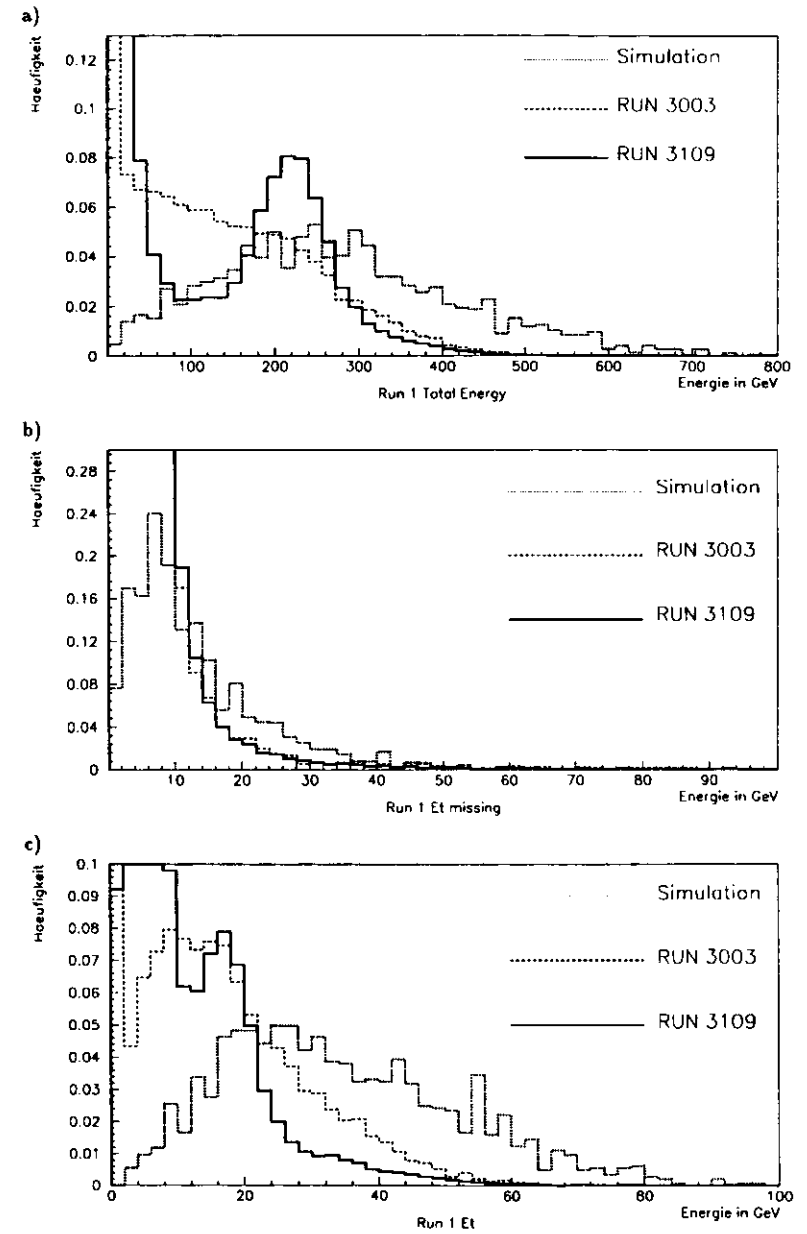


Abbildung 8.4: a) Energieverteilung im gesamten Kalorimeter b) Transversalenergie c) fehlende Transversalenergie

Kapitel 9

Zusammenfassung

Zu Beginn dieser Arbeit wurde eine Erweiterung des Datenanalyse-Programms von ZEUS erstellt, die die Bedienung des Programms deutlich vereinfacht. Damit ist es jetzt möglich, auf die Meßdaten zuzugreifen, ohne wissen zu müssen, auf welchem Band sie sich befinden.

Rechtzeitig zum Beginn der Datennahme wurde ein Überwachungsprogramm eingerichtet, das die technische Funktion aller Komponenten des ZEUS-Detektors und die Datenqualität ständig überwacht. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Routine zur Kontrolle des zentralen Kalorimeters entwickelt. Diese Routine stellt eine Reihe von Histogrammen zur Verfügung, die sowohl die Überwachung jedes einzelnen Kanals zulassen als auch globale Eigenschaften des Kalorimeters darstellen. Für jeden einzelnen Kanal werden z. B. die mittlere Energie und mittlere Zeit und deren Standardabweichungen aufgetragen, für das gesamte Kalorimeter werden u. a. die Energieverteilung und die Transversalenergie ermittelt. Anhand dieser Daten können Fehler erkannt und lokalisiert werden, die den lokalen Kontrollen entgehen. Außerdem ist der Vergleich über größere Zeiträume möglich.

Die Unterdrückung von Untergrund ist ein wesentliches Problem bei Speicherringen, deshalb werden die verschiedenen Untergrundquellen mit Hilfe von Monte Carlo Generatoren simuliert und aus den so gewonnenen Ergebnissen Strategien zur Verringerung des Untergrundes entwickelt. Anhand der Histogramme wurden die simulierten Daten mit den ersten Meßergebnissen verglichen. Dabei konnte keine Übereinstimmung der simulierten Strahl-Restgas-Reaktionen mit den gemessenen Daten gefunden werden. Die Simulation liefert zu wenige Ereignisse mit geringer Energiedeposition (bis einige GeV) im Kalorimeter, sagt aber einen hochenergetischen Anteil in den Energieverteilungen vorher, der nicht gemessen wurde.

Anhang A

Das Data-Validation-Programm

Das Data-Validation-Programm ist ein EAZE-Job, von dem aus die Programme zur Überwachung der einzelnen Komponenten aufgerufen werden. In diesem übergreifenden Programm werden alle Aufgaben erledigt, die für alle Komponenten durchgeführt werden müssen: Öffnen der Dateien und Abspeichern der Histogramme und Listen. Der Kalorimeter-Teil des Data-Validation-Programms hat die Aufgabe, alle nötigen Informationen aus den Rohdaten zu lesen und in die in Kapitel 7 beschriebenen Histogramme zu füllen.

A.1 Programmstruktur

Das Data Validation Programm wird von EAZE (vergl. Kap. 5) aufgerufen und zerfällt damit in drei Teile:

Initialisierung In der Initialisierungsroutine werden lediglich einige Variablen vorbesetzt, und eine Statusmeldung mit der Nummer der Programmversion wird ausgegeben.

Ereignis-Schleife Beim ersten Aufruf der Ereignis-Schleife werden alle Histogramme gebucht. Dies wird nicht in der Initialisierungsroutine durchgeführt, weil die Histogramm-Titel die Run-Nummer enthalten sollen. Die Run-Nummer steht in der Initialisierung aber noch nicht zur Verfügung, da die Tabellen dort noch nicht gefüllt sind. Außerdem wird die Bad-Channel-List hier einmal gelesen und in ein Array gefüllt. Für alle folgenden Ereignisse wird auf dieses Array zurückgegriffen. Das ist eigentlich nicht korrekt, da für jedes Ereignis eine eigene Bad-Channel-List geführt wird. Es gibt Kanäle, die während des ganzen Runs schlecht sind, und Kanäle die nur für ein einziges Ereignis nicht richtig ausgelesen werden können. Deshalb sollte für jedes Ereignis die entsprechende Liste gelesen werden. Der Zugriff auf die Bad-Channel-List wird von der Routine CisBAD durchgeführt und ist sehr zeitaufwendig, deshalb ist die Abfrage nicht für jedes Ereignis möglich. Mit CisBad braucht das Programm fünfmal länger!

Schließlich werden Initialisierungs-Routinen aufgerufen, die den Zugriff auf die Detektorgeometrie erlauben. Danach erfolgt der Zugriff auf die Rohdaten. Die Daten werden ausgepackt und verarbeitet. Einige Daten werden am Ende jeden Ereignisses direkt in Histogramme gefüllt, andere werden zur Mittelung über den ganzen Run aufsummiert und erst in der Terminierungs-Routine verarbeitet und in Histogramme gefüllt.

Terminierung Hier werden die Mittelwerte und Standardabweichungen ausgerechnet und in Histogramme gefüllt. Außerdem werden die Abfragen auf mögliche neue schlechte Kanäle durchgeführt und die entsprechenden Listen ausgegeben.

Das Programm wurde unter der Voraussetzung geschrieben, daß immer nur ein Run gelesen wird. Es werden keine Abfragen durchgeführt, ob ein neuer Run beginnt, sondern die Daten aller gelesenen Ereignisse in dieselben Histogramme geschrieben.

A.2 Rohdaten

Die Rohdaten des Kalorimeters sind in den drei ADAMO-Tabellen CFTENE, CBTENE und CRTENE gespeichert. Diese Tabellen enthalten für jede Zelle die Zellen-Nummer und zwei 32 Bit-Integerworte, je eines für den rechten und linken Kanal. (siehe [DDL92]) Diese Worte enthalten die Energie und die Zeit in gepackter Form. Hier wird kurz beschrieben, wie die (eindeutige) Zellen-Nummer in die etwas anschaulicheren Werte Komponente, Modul, Turm und Zelle umgerechnet werden kann und wie die 32 Bit-Zahlen auszupacken sind. (Das ist nicht in der DDL beschrieben!) Die Tabellen sind nicht nach den Zellen-Nummern sortiert!

A.2.1 Zellen-Nummer

In [JON92] wird ausführlich beschrieben, wie die Zellen-Nummern zu interpretieren sind. Hier folgt nur eine kurze Zusammenfassung. Jede Zelle des Kalorimeters, bestehend aus FCAL, BCAL und RCAL, wird durch eine eindeutige Zellen-Nummer bezeichnet. Diese Nummer ist äquivalent zur Angabe von Komponente, Modul, Turm und Zelle. Beide Bezeichnungen können ineinander umgerechnet werden:

$$CellNr = S + (32(I - 1) + J - 1)16 + 2K$$

mit

- I - Nummer des Moduls
- J - Nummer des Turms
- K - Nummer der Zelle innerhalb des Turms
- S - Offset (FCAL: S=0, BCAL: S=16384, RCAL: S=32768)

Für die drei Komponenten ergeben sich damit folgende Zellen-Nummern:

$$FCAL: \quad CellNr = ((I - 1)32 + J - 1)16 + 2K$$

I = 1 ... 23
 J = 1 ... 23, J nimmt in y-Richtung zu
 K = 1 ... 4, für EMC1,2,3,4, K nimmt in z-Richtung zu
 K = 5, 6, 7, für HAC0,1,2

$$BCAL: \quad CellNr = 16384 + ((I - 1)32 + J - 1)16 + 2K$$

I = 1 ... 32
 J = 1 ... 14, J nimmt in z-Richtung zu
 K = 1 ... 4, für EMC1,2,3,4, K nimmt in z-Richtung zu
 K = 6, 7, für HAC1,2

$$RCAL: \quad CellNr = 32768 + ((I - 1)32 + J - 1)16 + 2K$$

I = 1 ... 23
 J = 1 ... 23, J nimmt in y-Richtung zu
 K = 1, 2 für EMC1,2, K nimmt in z-Richtung zu
 K = 5, 6, für HAC0,1

Jede Zelle hat zwei Kanäle, zu deren eindeutiger Numerierung die Poser-Nummer dient:

Poser-Nummer = Zellen-Nummer für die rechte Seite (low x, low Phi)
 Poser-Nummer = Zellen-Nummer + 1 für die linke Seite (high x, high phi)

Mit der folgenden FORTRAN-Routine kann die umgekehrte Rechnung durchgeführt werden :

```
Subroutine Tower(ZellenNr, Komponente, Modul, Turm, Zelle)
integer ZellenNr, Komponente, Modul, Turm, Zelle, Num
komponente = int( ZellenNr / 16384. )
num        = mod( ZellenNr , 16384 )
modul      = int( num / 512. ) + 1
num        = mod( num , 512 )
turm       = int( num / 16. ) + 1
zelle      = mod( num , 16 ) / 2
end
```

Die Zellen-Nummer wird der Routine übergeben, zurück kommen Komponente, Modul,...

A.2.2 Auspacken der Energie und Zeit

Die beiden 32 Bit Integer-Variablen CXTENE.ETHigh und CXTENE.ETlow enthalten die Energie und Zeit des linken bzw. rechten Kanals. Die Energie ist eine vorzeichenbehaftete 24 Bit Integer-Größe, die in den niederwertigen 24 Bits bzw. 3 Bytes enthalten ist, die Zeit eine vorzeichenlose 8 Bit Integer-Größe, die im höchwertigen Byte untergebracht ist.

Um die Energie zu erhalten, müssen die 24 niederwertigen Bits in eine Integer-Variablen kopiert werden. Der IBM-Rechner erwartet das Vorzeichen im MSB (Most Significant Bit), das höchwertige Bit des 24 Bit-Ausdrucks muß also in das MSB geschoben und danach gelöscht werden. Das Ergebnis ist die Energie in MeV (Stand Ende 1992, [DEK92]).

Die Zeit erhält man, indem die 8 höchwertigen Bits in die acht niederwertigen Bits einer neuen Integer-Variablen (z. B. T8) kopiert werden. Das Vorzeichen der Zeit ist nicht durch ein Sign-Bit, sondern durch einen Offset von 128 gegeben. Die Zeit in ns ergibt sich aus $t = (T8 - 128) / 2$.

A.2.3 Kalorimetergeometrie

Innerhalb von EAZE ist der Zugriff auf Tabellen möglich, die Informationen zur Geometrie des Kalorimeters enthalten. Dazu stehen Routinen zur Verfügung, die in [JON92] ausführlich beschrieben werden. Im Data-Validation-Programm werden drei dieser Routinen aufgerufen. CcGeom initialisiert den Zugriff auf die Geometrie-Datenbank. CExist(Nr) prüft, ob eine Zelle der angegebenen Nummer überhaupt existiert, und CccXYZ(Nr,...) gibt die Koordinaten des Zellenschwerpunktes zurück.

A.2.4 CisBad

Die Routine CisBad wurde in [JON92b] vorgestellt. Die wichtigsten Eigenschaften werden hier zusammengefaßt.

Die Bad-Channel-List für das Kalorimeter ist in den Tabellen CFDCCN, CBDCCN und CRDCCN enthalten. Diese Tabellen stehen für jedes Ereignis zur Verfügung und können mit der Routine CisBad gelesen werden.

Subroutine CisBad (PoserNr, Lbad, Ierr)

Input : Integer PoserNr
 Output: Logical Lbad , Integer Ierr

Die Logical-Variablen Lbad ist .TRUE., wenn der Kanal schlecht ist. Ein Fehler ist aufgetreten, wenn Ierr $\neq 0$ ist, z. B. nicht existierende PoserNr.

A.3 PAW-Makro

Die von dem Data-Validation-Programm erstellten Histogramme werden in speziellen Dateien (RZ-Files) gespeichert und können mit PAW weiterverarbeitet werden. Zur Darstellung der Histogramme auf dem Bildschirm gibt es eine Reihe von PAW-Makros. Die Makros sind mit einer Menüführung ausgestattet und erlauben über die Runnummer und den Namen der Komponente den Zugriff auf die gewünschten Histogramme. Sie können innerhalb von PAW durch die Eingabe von „F1UKR2.PAWLOGON.KUMAC“ gestartet werden.

A.4 Zugriff auf einzelne Histogramm-Bins

Die Präsentation in Form von zweidimensionalen Histogrammen erlaubt zwar einen schnellen Überblick über die Daten, es ist aber praktisch nicht möglich, den genauen Wert in einer Zelle abzulesen. Deshalb gibt es ein interaktives Programm, das den Zugriff auf einzelne Histogramm-Bins erlaubt. Das Programm erwartet nach der Eingabe der Run-Nummer die Zellen-Nummer bzw. die Eingabe von Komponente (F/B/RCAL), Modul, Turm und Zelle (EMC1-4, HAC0-2) und liest alle zu dieser Zelle verfügbaren Daten aus den Histogrammen. Die Bildschirmausgabe hat die folgende Form :

```
=====
PoserNr : 5284                               RunNr : 3109
FCAL modul 11 tower 11 EMC2 low x
.....
                                high x          low x
                                .....          .....
mean energy :                   0,00651        0,00254
RMS of energy :                 0,02152        0,01390
number of noise events :                          6441
L-R/L+R :                               0,11642
RMS of L-R/L+R :                   0,26878
mean time :                         5,4803        4,3867
RMS of time :                       9,8094        8,89194
number of signal events :                               812
..... mean time for events with ECell > 1 GeV .....
mean time :                         3,42857        1,54464
RMS of time :                       9,22556        8,70231
=====
```

Diese Informationen sind prinzipiell für alle 5917 Zellen abrufbar.

Die Data-Validation wird nicht für alle Runs gestartet, die Histogramme sind deshalb auch nicht für alle in der RUNINFO-Datenbank enthaltenen Runs vorhanden. Das Programm gibt eine entsprechende Meldung aus, wenn die Histogramme nicht existieren, und fragt nach einer neuen Run-Nummer.

Das Programm läuft nur auf der IBM-Rechenanlage, da nur dort alle Dateien der Data-Validation verfügbar sind. Das Migrations-System der IBM lagert lange nicht benutzte Dateien auf Band aus. Auf diese Dateien kann nicht interaktiv zugegriffen werden. Die Dateien älterer Runs sollten deshalb vor dem Start des Programms auf Platten zurückkopiert werden.

Option ist sinnvoll, wenn wenige Bänder sehr oft hintereinander gelesen werden sollen oder wenn viele Programme gleichzeitig auf diese Daten zugreifen wollen.

Anhang B

EAZE-JOB

Die Anwendung der in Kapitel 5 beschriebenen neuen Funktionen des EAZE-Programms wird hier anhand eines nahezu vollständigen Beispiels vorgestellt. Der Einsatz von EAZE auf dem IBM-Zentralrechner ist wegen des unübersichtlichen Betriebssystems mühsamer als auf anderen Rechnern; es ist aber nur von der IBM-Anlage aus möglich, auf alle ZEUS-Daten zuzugreifen. Das Beispiel bezieht sich deshalb nur auf den IBM-Rechner. Eine jeweils aktuelle Version des EAZE-Jobs findet sich in der Datei „F1ZSCH.ZREXAM.EAZE(NEAZE)“, auch das Beispiel stammt von dort.

Der EAZE-Job besteht aus zwei Teilen. Zuerst werden die verwendeten Libraries und alle benötigten Dateien mit Betriebssystem-Kommandos (JCL) angefordert. Danach wird dem EAZE-Programm über Steuerkarten mitgeteilt, was es tun soll. Alle JCL-Anweisungen müssen groß geschrieben werden, die EAZE-Steuerkarten können dagegen auch klein geschrieben werden. Die verschiedenen Möglichkeiten werden anhand von zwei Beispielen erklärt :

1. Ein Run wird über seine Nummer ausgewählt, die entsprechenden Bänder werden automatisch herausgesucht und gelesen.
2. Wie 1., die Bänder werden aber auf eine Platte kopiert und von dort gelesen.

Automatische Auswahl der Bänder

Die Run-Nummer wird in die Zeile „ZeusIO-RUNR“ der Steuerkarten eingetragen. Mit der Anweisung „ZeusIO-INFT“ werden die RAW-, REC- oder DST-Bänder angefordert. Diese Zeile veranlaßt EAZE, die Bandnamen aus einer Datenbank herauszusuchen und alle Bänder nacheinander zu lesen. Schließlich muß noch das Betriebssystem die Anweisung bekommen, ein Bandlaufwerk zur Verfügung zu stellen. Das geschieht mit der JCL-Zeile

```
//G.TAPEIN DD UNIT=(CART,,DEFER),DISP=
```

Der unten abgedruckte EAZE-Job erfüllt diese Aufgabe.

Staging

Da Bandlaufwerke knapp sind und immer nur ein Programm gleichzeitig auf ein Band zugreifen kann, wurden am DESY sog. Stage-Disks eingerichtet. Auf diese Disks können kurzzeitig (1 Tag) die Daten eines oder mehrerer Bänder kopiert werden. Auf diese Daten kann dann sehr schnell und von mehreren Programmen gleichzeitig zugegriffen werden.

Das EAZE-Programm unterstützt das „Staging“. Gegenüber dem Beispiel (1) müssen lediglich zwei Zeilen geändert werden. Wenn die Option in der Zeile „ZeusIO-STAGE“ auf „YES“ steht (normalerweise „NO“), werden die angeforderten Bänder erst auf eine Platte kopiert und von dort gelesen. In der JCL muß dann die Zeile „//G.TAPEIN DD UNIT=(CART,,DEFER),DISP=“ gelöscht werden. Diese

```

/* ===== Betriebssystem -- Anweisungen =====
// EXEC VPORTCLG,
// CPRM='DC(GCBANK,PAWC,TAPZBK),SOURCE',
// LPRM='EP=EAZE',
// LLB1='F1ZSCH.NEW.ZRREC.LIB',
// LLB2='F1ZSCH.NEW.MOZART.LIB',
// LLB3='F1ZSCH.CERN.GEANT313.LIB',
// LLB4='F1ZSCH.NEW.ZEUSADAM.LIB',
// LLB5='F1ZSCH.NEW.CCREC.LIB',
// LLB6='F1ZSCH.NEW.TCREC.LIB',
XMACRO 'f1zsch.zrexam.eaze(genlibs)'
/* ADAMO, GENLIB, PACKLIB ON LUN 7,8,9
// LLB10='F1ZSCH.CERN.GEANG313.LIB',
// LLB11='F3SPAN.PHANTOM.LIB',
// GRGW=8000K
/*
//C.SYSIN DD DSN=ZASASH,DISP=(OLD,DELETE)
/*
//G.FT06F001 DD DSN=listing,
// SPACE=(TRK,(100,20),RLSE),UNIT=FAST,DISP=(NEW,CATLG),
// DCB=RO1DCB.VBA
/* =====
//G.TAPEIN DD UNIT=(CART,,DEFER),DISP=
/* =====
/* G.INPUT1 DD DSN=tape-input,
/* DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
/* G.OUTPUT DD DSN=output,
/* DISP=(NEW,CATLG),UNIT=CART,
/* DCB=(RECFM=FB,BLKSIZE=21600,LRECL=3600)
/*
//G.FT07F001 DD *
* ===== Hier beginnen die EAZE -- Steuerkarten =====
* ----- Number of evts (integer,default = unlimited)
ZRLIMIT-NEVT 999999
* ----- Time left (real, default = 20. sec)
ZRLIMIT-TLFT 4.
*
* runmin runmax {range of runs}
ZeusIO-RUNR 2489 2489
*
* ----- Zeus Reconstruction Debug Control Card-----
* Steer Init Term Input Output Extrap
* ZeusReco-ZRDB FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE
*

```

```
* ----- INPUT files -----
*
* ZeusIO-INFI INPUT1
* ZeusIO-INFI RAWTAPE
* ZeusIO-INFI DSTTAPE
ZeusIO-INFI RECTAPE
ZeusIO-STAGE NO
*
*
ZeusIO-IOPT MEDIUM=DISK,DRIVER=FZ,FILFOR=EICH
ZeusIO-IRCD ALL
ZeusIO-IDFL ALL
*
* ----- OUTPUT files -----
* ZeusIO-OUFI OUTPUT
ZeusIO-OOPT MEDIUM=DISK,DRIVER=FZ,FILFOR=EICH
ZeusIO-ORCD HDR,EVT
ZeusIO-ODFL COSMICONLINEIII, PHASE1, PHASE2
*
* ----- ZGEN data cards -----
* TRGTDATE is the date/time which specifies the Detector status
* of the MCarlo events. (e.g. controls selection of Geom. etc.)
ZGEN-TRGTDATE (yyyymmdd) 19920512 (hhmmss) 000001
*
ZDIN-CAT ZEUS01.ZOF.NEW.LOAD.RZ
ZDIN-PATH ZEUS01.ZOF.NEW.
c
STOP
```

Anhang C

VSAM-Cluster

Zu Beginn dieser Arbeit wurde eine kleine Datenbank erstellt, die zum Speichern und Darstellen von Kennwerten zum Kalorimeter dienen sollte. Diese Kennwerte sollten in Form von reellen oder ganzen Zahlen zu jedem Run gespeichert werden. Im Laufe der Arbeit hat sich jedoch herausgestellt, daß reine Zahlen zum Überwachen des Kalorimeters unzuverlässig sind. Statt dessen werden ein- und zweidimensionale Histogramme abgespeichert und mit Hilfe des Graphik-Analyse-Paketes PAW¹ dargestellt.

Grundlage der Datenbank ist ein VSAM² - Cluster, der Keyed Access Files anlegt. Der Cluster besteht aus einer Reihe von Dateien, die das schnelle Auffinden eines Begriffs nach allen vorgegebenen Keys ermöglichen. Für den Anwender sind diese Dateien nicht sichtbar, er definiert lediglich die benötigten Felder, deren Größe vor dem Anlegen des Clusters bestimmt werden muß. Jedes dieser Felder enthält einen oder mehrere Keys, nach denen der ganze Cluster sortiert ist. Die Zahl der Felder liegt nicht fest. Jedesmal, wenn neue Einträge hinzukommen, wird deren Position in der Sortierreihenfolge bestimmt. Für die Kenndaten wurde lediglich ein Key - die Run-Nummer - vergeben. Damit waren alle Felder nach der Runnummer sortiert. Keyed Access Files erlauben den direkten Zugriff auf ein durch einen oder mehrere Keys selektiertes Feld oder das sequentielle Durchlesen des ganzen Clusters in der Reihenfolge eines Keys.

Die Kennzahlen-Datenbank bestand aus zwei Modulen. Das erste Modul war ein von EAZE aufrufbares Unterprogramm, das die Aufgabe hatte, alle mit EAZE aus den Rohdaten herausgefilterten Kennzahlen direkt in den VSAM-Cluster zu schreiben. Das zweite Modul war ein interaktives Programm, das es erlaubte, vom Terminal aus in den Kennzahlen zu blättern, spezielle Runs herauszusuchen und auch die Möglichkeit vorsah, zu jedem Run Kommentare über das Terminal einzugeben.

Um die Schwächen der FORTRAN Input/Output-Möglichkeiten auszugleichen, wurde das Terminalprogramm mit sog. Panels versehen. Diese Panels sind vordefinierte Bildschirmmasken, die die speziellen Möglichkeiten von IBM-Terminals nutzen, z. B. kann die Tastatur abgefragt werden. Vor allem ist es möglich, eine ganze Bildschirmseite auf einmal zu bearbeiten und erst die fertige Seite an den Zentralrechner zu schicken. Das Terminalprogramm verfügte über mehrere Panels zur Benutzerführung, zum Betrachten der Kennzahlen und zum Editieren der Kommentare zu einzelnen Runs.

Außerdem konnten über eine Schnittstelle zur Runinfo-Datenbank einige der dort gespeicherten Daten zu einem Run angefordert werden, z. B. die Anzahl der Ereignisse pro Run und die zugehörigen Bandnamen. Die für einen potentiellen Anwender wichtigste Aufgabe des Programms war die Darstellung der Kennzahlen auf dem Bildschirm. Die Daten wurden dazu auf verschiedene Seiten verteilt, in denen mit der Tastatur geblättert werden konnte. Die Zahl der Seiten ist nicht begrenzt, zu Testzwecken waren drei verfügbar. Über ein Eingabefeld konnte ein neuer Run angefordert werden, es war aber auch möglich, in den Runs vorwärts oder rückwärts zu blättern. Eine Option zum Drucken von Listen war vorhanden, konnte aber ohne Daten nicht weiterentwickelt werden.

Diese Datenbank wurde mit einigen wenigen Einträgen getestet und hat in diesem Rahmen funktioniert. Sie ist nie zum Einsatz gekommen, da sich Histogramme als aussagekräftiger erwiesen haben.

¹PAW - Physics Analysis Workstation

²VSAM - Virtual Storage Access Method

Literaturverzeichnis

- [BEN90] Frédéric Bénard
Monte Carlo Study of Beam Gas Suppression Using RCAL Timing Information
ZEUS-Note 90-024, Hamburg, Februar 1990
- [BER91] A. Bernstein et al.
Calibration of the Calorimeter Readout Electronics, Version 1.0
ZEUS-Note 91-114, Hamburg, Dezember 1991
- [BRU87] R. Brun, D. Lienart
HBOOK User Guide, Version 4
CERN Computer Centre, Oktober 1987
- [BRU89] R. Brun et al.
PAW - Physics Analysis Workstation
The Complete Reference, Version 1.07
CERN Program Library, Oktober 1989
- [CAL87] A. Caldwell et al.
Measurements of the Background Signal (Noise) from DU,
Computer Modeling of the DU Noise
ZEUS-Note 87-017 Hamburg, Januar 1987
- [CAL92] A. Caldwell et al.
Design and Implementation of a High Precision Readout System for the ZEUS Calorimeter
ZEUS-Note 92-022, Hamburg, Dezember 1991
- [COL91] C. Coldewey
Untersuchungen von Strahlenschäden an Feldeffekttransistoren und an CMOS-Speicherbausteinen
Diplomarbeit, Hamburg, April 1991
- [DDL92] ZEUS Kollaboration
ADAMO Dictionary Report
DESY Hamburg, 1992
- [DEK92] Marc de Kamps
Using CAL reconstruction control cards
Interne Mitteilung (NEWS), DESY August 1992
- [DSY91] ZEUS Kollaboration
Construction and Beam Test of the ZEUS Forward and Rear Calorimeter
DESY 91-026, April 1991
- [FIS92] S.M. Fisher, P. Palazzi
The ADAMO Data System
Programmers Manual - Version 3.2 DESY, Hamburg Januar 1992
- [GRE89] M.G. Green
The ADAMO Data System
An Introduction for Particle Physicists
ZEUS-Note 89-027, Hamburg, August 1989
- [HIL86] E. Hilger
ZEUS Coordinate System
ZEUS-Note 86-017, Hamburg, Mai 1986
- [JON92] Paul de Jong
Status of the Uranium Calorimeter Reconstruction Software
User Guide Version 2.00 ZEUS-Note 92-019, Februar 1992
- [JON92b] Paul de Jong
New things in CCRECON
Interne Mitteilung (NEWS), DESY Juni 1992
- [JON90] Sijbrand de Jong, Henk Uijterwaal
First level trigger cuts based on the analysis of the ZG311T6 Monte Carlo data
ZEUS-Note 90-003, Hamburg, Januar 1990
- [KLA89] R. Klanner, G. Wolf
Das ZEUS-Präzisionskalorimeter für HERA
Physikalische Blätter 45 (1989) Nr. 9
- [KLE88] H. J. Klein, J. Zoll
PATCHY, Reference Manual, Version 4.13
CERN Program Library, März 1988
- [KRU92] Jürgen Krüger
The Uranium Scintillator Calorimeter for the ZEUS Detector at the Electron-Proton Collider HERA
DESY 91-019, PRC 91-02 Hamburg, Januar 1992
- [LEV88] G. Levman
The noise spectrum of a uranium - scintillator calorimeter
ZEUS-Note 88-119, Hamburg, Oktober 1988
- [LOH86] E. Lohrmann
Hochenergiephysik
Teubner, 1986
- [LOH92] E. Lohrmann et al.
Background Study in the ZEUS Interaction Region
ZEUS-Note 92-011, Hamburg, Januar 1992
- [MO91] L.W. Mo, T.A. Nunamaker
The Subject Matter Related to PMT, Magnetic Shield, Installation and High Voltage Base on BCAL
ZEUS-Note 91-131, Hamburg, Dezember 1991

- [NIK92] S. Nickel
Die simulierten Daten wurden mir freundlicherweise von S. Nickel zur Verfügung gestellt.
- [NIS92] U. Nissen
Persönliche Mitteilungen
- [PER86] Donald H. Perkins
Introduction to High Energy Physics
Third Edition, Addison-Wesley (1986)
- [RIT92] S. Ritz
DAQ4.DSP: The DSP Code for Taking Data with the ZEUS Calorimeter
ZEUS-Note 92-070, Hamburg, Juli 1992
- [SBE90] S. Bentvelsen et al.
First and Second Level Trigger Cuts for Beam Gas Suppression
ZEUS-Note 90-116, Hamburg, November 1990
- [SCH92] S. Schlenstedt
Die simulierten Daten wurden mir freundlicherweise von S. Schlenstedt zur Verfügung gestellt.
- [SMI89] W.H. Smith et al.
ZEUS Calorimeter First Level Trigger
ZEUS-Note 89-085, Hamburg, September 1989
- [SMI90] W.H. Smith et al.
The ZEUS Trigger System, Version 2.0
ZEUS-Note 89-084, Hamburg, August 1990
- [SOM92] H. Sommer
Persönliche Mitteilungen
- [TOK92a] K. Tokushuku
Interne Mitteilungen (NEWS), DESY 1992
- [TOK92b] K. Tokushuku
Persönliche Mitteilungen, November 1992
- [UIJ92] HENK Uijterwaal (Editor)
ZGANA - A Software Library to process output from the ZG313Tn Trigger Monte Carlo Programme, Version 7.0
DESY, Hamburg, Juli 1992
- [WOL86] G. Wolf
HERA: Physics, Machine and Experiments
DESY 86-089, Hamburg, August 1986
- [ZEU89] ZEUS Kollaboration
The ZEUS Detektor, Status Report 1989
DESY Hamburg, März 1989

Danksagung

Herrn Professor Dr. Lohrmann und Herrn Dr. Kasemann danke ich, daß sie mir die Möglichkeit gegeben haben, am ZEUS-Experiment mitzuarbeiten.
Bei der Arbeit am Data-Validation-Programm bekam ich jederzeit Unterstützung von Dr. U. Mallik und Min-Zu Wang. Dafür möchte ich ihnen herzlich danken.
Besonderer Dank gebührt Udo Nissen, der mir geholfen hat, die Tücken der IBM-Anlage zu überwinden.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Diplomarbeit unter Angabe aller verwendeten Quellen und Hilfsmittel selbständig angefertigt zu haben.

Hamburg, Dezember 1992

(Michael Bender)

