



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

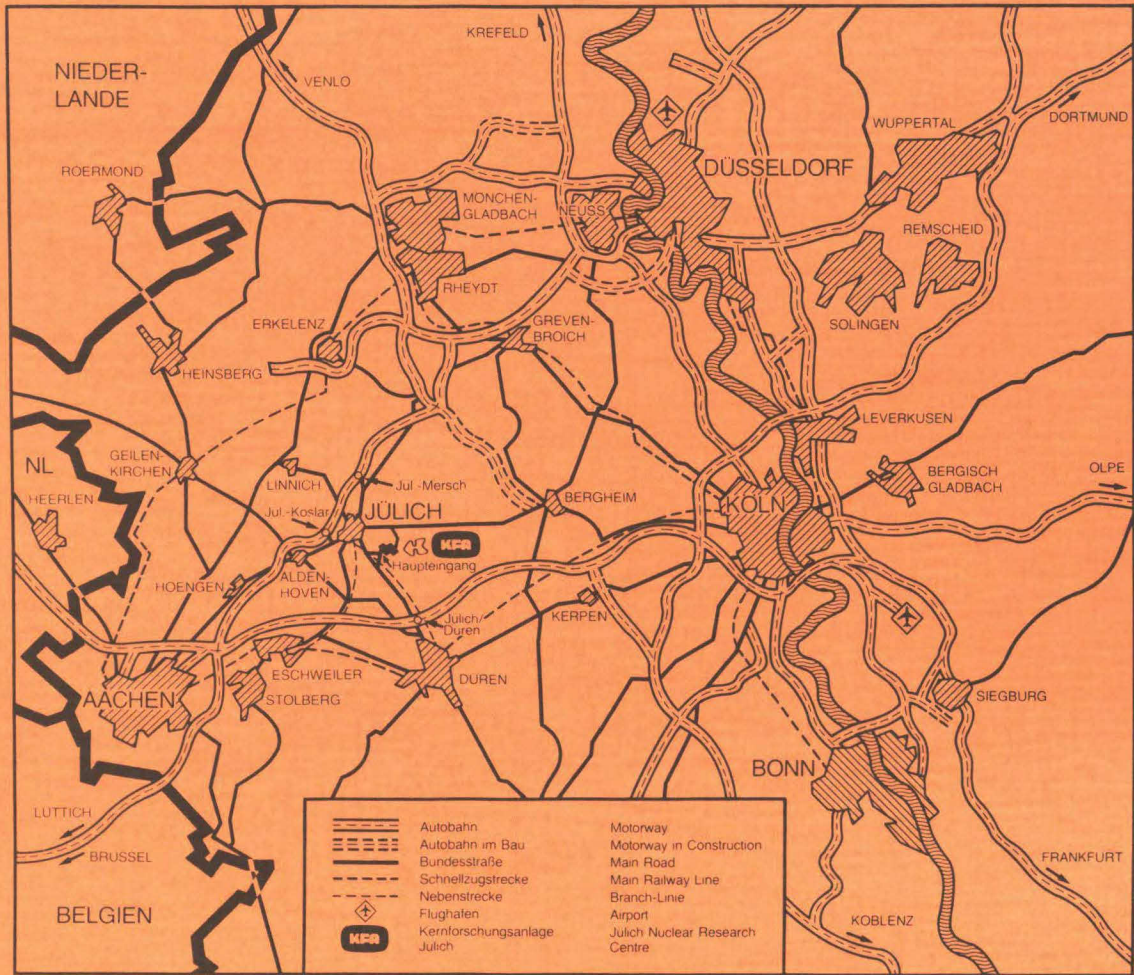
Institut für Kernphysik

**Monte Carlo Simulation
eines π^0 Detektors**

von

Andreas Wasserziehr

Jül-Spez-511
Juli 1989
ISSN 0343-7639



Als Manuskript gedruckt

Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 511
 Institut für Kernphysik Jül-Spez-511

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH
 Postfach 19 13 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)
 Telefon: 02461/610 · Telex: 833556-0 kf d

Monte Carlo Simulation eines π^0 Detektors

von

Andreas Wasserziehr

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 2 | Beschreibung des Detektors | 7 |
| 2.1 | Schematischer Aufbau | 7 |
| 2.2 | Konverterring | 7 |
| 2.3 | Absorberring | 8 |
| 2.4 | Datenaufnahme | 8 |
| 3 | Monte-Carlo Simulation | 11 |
| 3.1 | Computer Code | 11 |
| 3.2 | Prinzip des π^0 Nachweises | 12 |
| 3.3 | Energieverlust Rechnung in GEANT3 | 13 |
| 3.4 | π^0 Generator | 17 |
| 3.5 | π^0 Rekonstruktionsalgorithmus | 18 |
| 3.5.1 | Winkelbestimmung | 20 |
| 3.5.2 | Geometrische Effizienz des π^0 Spektrometer | 25 |
| 3.5.3 | γ -Konversionswahrscheinlichkeit | 27 |
| 3.5.4 | Konversionseffizienz von SF5 für Myonen | 30 |
| 3.6 | Ergebnisse der Monte Carlo Rechnungen | 30 |
| 3.6.1 | Massenverteilung der Pionen | 30 |
| 3.6.2 | Energieverteilung der γ -Teilchen | 33 |
| 3.6.3 | Winkelverteilungen | 33 |
| 3.6.4 | Energieverteilung der Pionen | 33 |
| 3.7 | Isotrope und konstante Energieverteilung | 38 |
| 4 | Experimentelles | 43 |
| 4.1 | Kalibration der SF5 Module mit Myonen | 45 |
| 4.2 | Der LED Pulsgeber als Monitor | 50 |
| 4.2.1 | Funktionsweise der Pulsgeberelektronik | 51 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.2.2 | Stabilitätsmessung des Pulsgebers | 53 |
| 4.3 | Vergleich diverser Bleiglasumantelungen | 55 |
| 5 | Anhang | 57 |
| 5.1 | Tabelle der Verstärkereinstellungen bei der Höhenstrahlungsmessung . . . | 57 |
| 5.2 | Tabelle zur Gausskurvenanpassung der Myonenspektren | 58 |
| 5.3 | Fortran Quelltext des Eventgenerators | 59 |
| 5.4 | Fortran Quelltext der GEANT Anwenderprogramme | 62 |
| 5.5 | Danksagung | 118 |

Kapitel 1

Einleitung

In einer Reihe von Experimenten [1][2][3][4][5][6] ist gezeigt worden, daß der Produktion neutraler Pionen in Schwerionenstößen bei mittleren Energien große Bedeutung im Hinblick auf die Untersuchung von Streuvorgängen zukommt. Die beobachteten π^0 Produktionsraten indizieren die Anwesenheit stark kollektiver Effekte. Bei Nukleon-Nukleon Stößen können Pionen nur dann erzeugt werden, wenn die Schwerpunktsenergie des Nukleonensystems größer ist als die Ruhemasse m_{π^0} des Pions. Daraus ergibt sich für ein Nukleon, das auf ein anderes ruhendes trifft und ein Pion erzeugt eine Energieschwelle von etwa 280 MeV (im Laborsystem). Bei Stößen zwischen komplexen Kernen gilt dasselbe Energieerhaltungsprinzip: Die Schwerpunktsenergie muß größer als $m_{\pi^0}c^2$ sein. Da die Energie nun unter mehreren Nukleonen aufgeteilt werden kann, bedeutet dies, daß Pionen selbst bei Strahlteilchenenergien, die pro Nukleon gerechnet um eine Größenordnung unterhalb der 280 MeV liegen, erzeugt werden können. Dies legt die Existenz kooperativer Mechanismen nahe.

Es gibt verschiedene Interpretationsansätze. P. Braun-Munzinger und J. Stachel fassen in ihrem Übersichtsartikel [7] zur Pionen Produktion bei Schwerionenstößen die zur Zeit bekannten Modelle in drei Gruppen zusammen.

1. *Pionen Produktion aus unabhängigen Nukleon Nukleon Stößen*

Dieser Prozeß der Pionenproduktion ist weitaus komplizierter als die Entstehung eines Pions bei Stößen zwischen freien Nukleonen. In den sich nähernden Kernen sind die Nukleonen auf Grund der Kernwechselwirkung zunächst an ihre Orbitale gebunden. Innerhalb der Kernmaterie finden dann Stöße zwischen Nukleonen des Projektils und des Targets statt, wobei zu berücksichtigen ist, daß einige Endzustände wegen des Pauli Prinzips verboten sind. Man nimmt an, daß die Pionenproduktion direkt zu Beginn der Reaktion, wo hohe relative Impulse zwischen Target- und Projektil Nukleonen möglich sind, wenn man der Kopplung des Relativimpulses zwischen Target und Projektil und dem Fermi- Impuls der Nukleonen Rechnung trägt, stattfindet. Ist die relative Energie

zwischen einem Nukleon des Targets und einem aus dem Projektil größer als $m_\pi c^2$, so kann bei einem solchen Prozeß ein Pion entstehen. Bei nicht zu niedrigen Projektil Energien ($E_{lab}/A > 60 \text{ MeV}$), wo die Details der Energieverteilung nicht so ins Gewicht fallen, beschreibt das Modell unter Berücksichtigung der Stoßkinematik und des Einflusses des Kernfeldes die gemessenen Daten recht gut.[7]

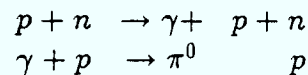
2. Thermische Modelle

Es gibt einige Beweise[8][9][10] dafür, daß bei Kern Kern Stößen hochangeregte Kernsysteme gebildet werden können. Das zugrunde liegende Bild ist die Bildung einer sogenannten heißen Zone (engl. hot spot), die die Schwerpunktsenergie des Projektil-Target Stoßes auf Grund einer sogenannten Thermalisierung enthält. Ist die gesamte Anregungsenergie in diesem Gebiet größer als $m_\pi c^2$, so kann prinzipiell ein Pion als eines der möglichen Zerfallsprodukte entstehen.

3. Modelle, denen kollektive Prozesse zugrunde liegen

Eine mögliche Definition kohärenter oder kollektiver Produktion [7] ist die eines Mechanismus bei dem Energie aus der Relativbewegung extrahiert wird, indem das Projektil und/oder das Target als ganzes abgebremst werden und in einen Freiheitsgrad, dem Pion umgewandelt wird. Dieser Definition folgend muß ein großer Teil der Nukleonen in einer gemeinsamen 'Phase' wechselwirken.

Eine Idee die Pionen Produktion unterhalb der durch eine reine zwei Teilchen Wechselwirkung definierten Energieschwelle zu begreifen, besteht in der Annahme eines Zweistufenprozesses[11]. Dazu betrachtet man beispielsweise die Reaktion $p + d \rightarrow \pi^0 + {}^3\text{He}$:



Das bei der Proton-Neutron Reaktion entstehende intermediäre γ -Quant produziert seinerseits bei dem Stoß mit einem weiteren Proton ein π^0 . Ist das Überlappintegral

$$f^2(\epsilon) = |\langle d | V | p \rangle|^2 \simeq e^{-\frac{\epsilon}{B({}^3\text{He})}}$$

der Wellenfunktionen $|d\rangle$ und $|p\rangle$ hinreichend groß, so steht der zweiten Reaktion des Stufenprozesses die Bindungsenergie von 5.49 MeV des ${}^3\text{He}$ zur Bildung des Pions zur Verfügung.

Die vorliegende Arbeit beinhaltet eine zusammenfassende Darstellung einiger experimentvorbereitender Tätigkeiten, die anlässlich eines zum Nachweis neutraler Pionen am Jülicher Zyklotron geplanten[12] Streuexperimentes durchgeführt wurden. Als Pionendetektor wird das aus der Universität von Louvain-la-Neuve stammende[13] und in der GSI¹ weiterentwickelte[14] Bleiglashodoskop verwendet.

¹Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH Darmstadt

Die Bestimmung der Detektoreffizienz wurde mit einer Computer-Simulations-Rechnung auf einer IBM-3090/200E durchgeführt. Der zum Verständnis notwendige Überblick wird im Kapitel 'Beschreibung des Detektors' gegeben. Es sind leichte Modifikationen in der Ummantelung der SF5-Module getestet worden. Außerdem wurde eine Energieeichung mit μ -Mesonen der Höhenstrahlung durchgeführt. Die Möglichkeit, einen Hochfrequenzlichtpuls[15] als Monitor für die Photomultiplerverstärkung zu verwenden, wurde getestet. Diese Themen werden im Kapitel 'Experimentelles' behandelt.

Kapitel 2

Beschreibung des Detektors

2.1 Schematischer Aufbau

Der schematische Aufbau des Spektrometers ist in Abbildung 2.1 dargestellt¹. Es besteht aus zwei konzentrischen Bleiglasringen, die durch einen Zwischenraum voneinander getrennt sind. In der Strahlrichtung sind zwei Ringsegmente offen gelassen worden. Der innere Ring dient als Konverter, während der äußere den Rest des im Konverter initiierten leptonischen Schauers absorbiert. Der Öffnungswinkel eines Konverters beträgt 30° polar; er wirkt gleichzeitig auf vier Absorberblöcke die jeweils 15° polar abdecken. In Folge dessen ist das Spektrometer in zehn unabhängige Zellen aufgeteilt von denen jede aus einem Konverter und vier Bleiglasblöcken besteht.

2.2 Konverterring

Der Konverterring ist aus zehn Bleiglasmoduln vom Typ SF5² zusammengesetzt. Jeder von ihnen hat die Form eines Pyramidenstumpfes passend zum polaren Öffnungswinkel von 30° . In der azimuthalen Richtung werden 45° abgedeckt. Die Frontfläche ist $4 \times 6 \text{ cm}^2$, während die Dicke 4.35 cm ($\simeq 1.8\chi_o$) beträgt³. Das im Innern des Konverters produzierte Čerenkovlicht wird mit einem Plexiglaslichtleiter in einen Photomultiplier mit kurzer Anstiegszeit⁴ und einer Stirnfläche von 5 cm Durchmesser geführt. Die optische

¹Der Aufbau ist nur leicht gegenüber dem in [14]beschriebenen modifiziert. Insbesondere wurde auf die Vieldrahtproportionalalkammer verzichtet. Außerdem wurde die Anzahl der Bleiglasmodule erhöht.

²Schott-Glaßwerk Mainz. Die genauen Spezifikationen findet man in dem Artikel [16] von E. Longo und I. Sestili.

³ χ_o ist die Strahlungslänge; für SF5 ist sie etwa 2.47 cm

⁴RCA8575

Ankopplung aller Elemente besteht aus einer Silikonkautschukmasse⁵. Der Innenradius des Konverterringes beträgt 7.5cm.

2.3 Absorberring

Der Absorberring besteht aus vierzig Bleiglásmoduln, welche die Abmessung des original Hodoskops[13] besitzen. Jeder Block hat die Form eines trapezoidalen Prismas mit einem $4 \times 10\text{cm}^2$ Frontgesicht, einem $8 \times 10\text{cm}^2$ Ausgangsgesicht und einer Tiefe von 15cm ($\simeq 6.1\chi_o$), was einem Öffnungswinkel von 15° in polarer Richtung entspricht. Das Lichtsignal wird durch schnelle Photomultiplier⁶ von 7.6cm Durchmesser registriert. Die Photomultiplier sind durch kurze Lichtleiterstücke mit den Moduln gekoppelt. Der innere Radius des Rings beträgt 15 cm.

2.4 Datenaufnahme

Auf die zur Datenaufnahme notwendig gewordene Entwicklung des sehr schnell arbeitenden, modularen, vielparameterigen Datenanalyse und - Aquisitionssystems FATIMA[17] kann im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen werden. Die Eventtriggerlogik wurde im Monte Carlo Programm experimentgetreu auf das Unterprogramm GUOUT abgebildet (s.3.3), das in der Programmiersprache Fortran geschrieben ist.

⁵Wacker SilGel 1604

⁶EMI/9821B

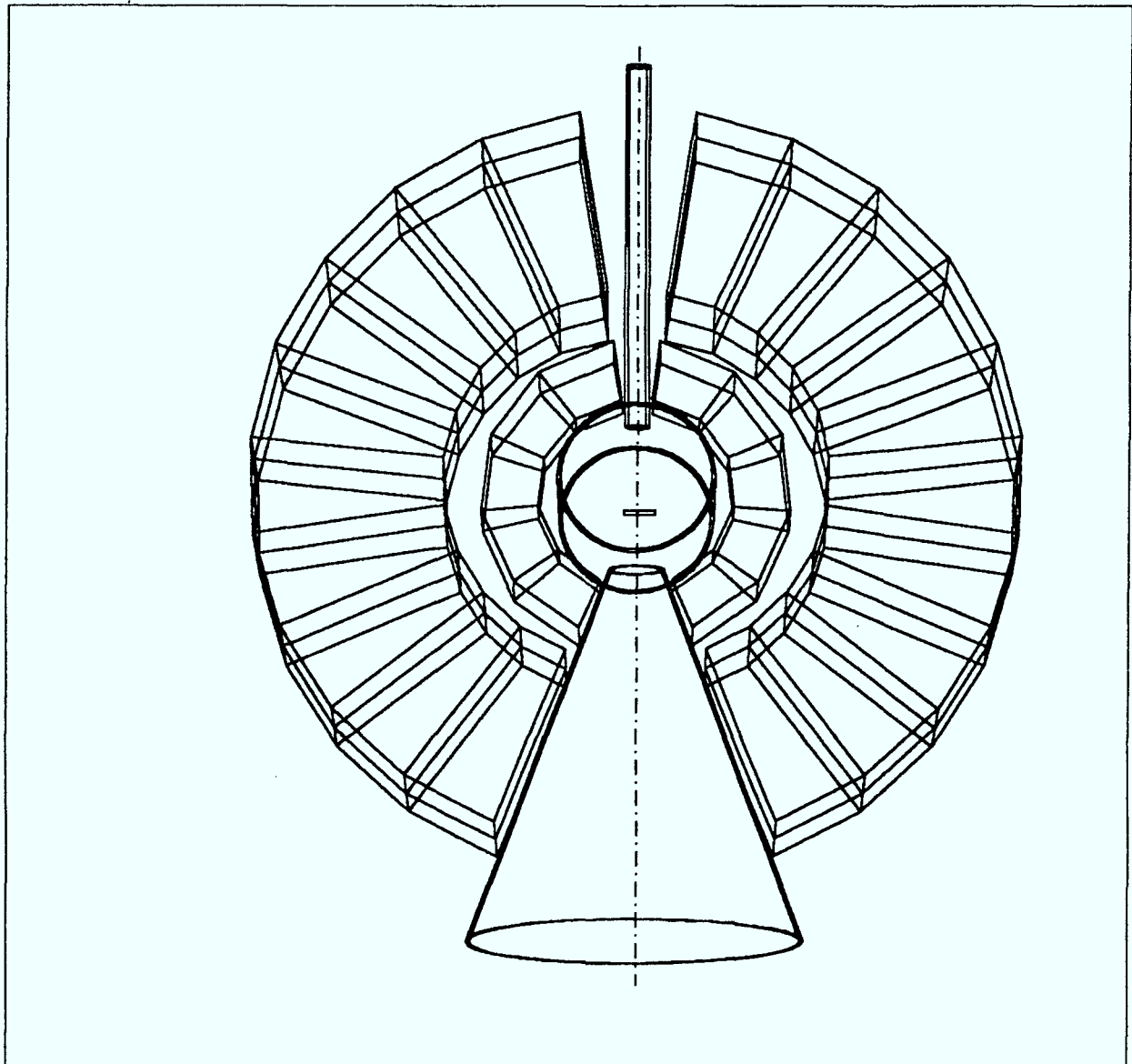


Abbildung 2.1: Design des π^0 Spektrometers. Die Abbildung zeigt wie die zehn Teleskope, von denen jedes aus einem Konverter und zwei Absorbern besteht, um die Streukammer angeordnet sind.

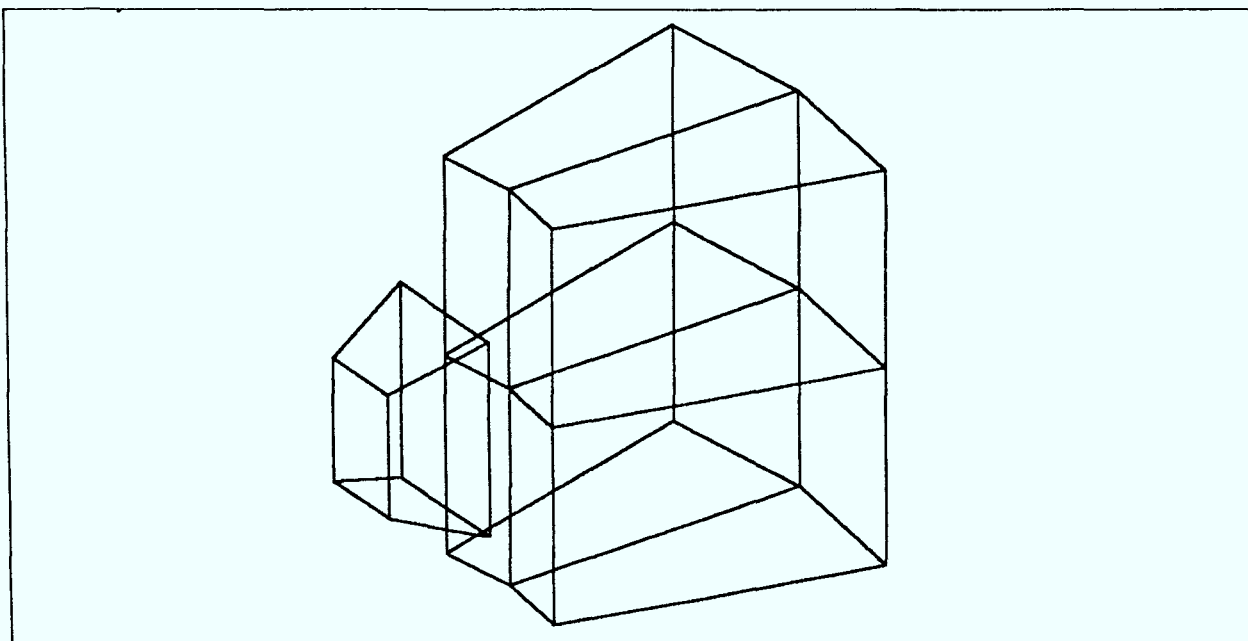


Abbildung 2.2: Konstruktion eines der 10 Teleskope des π^0 Spektrometers.

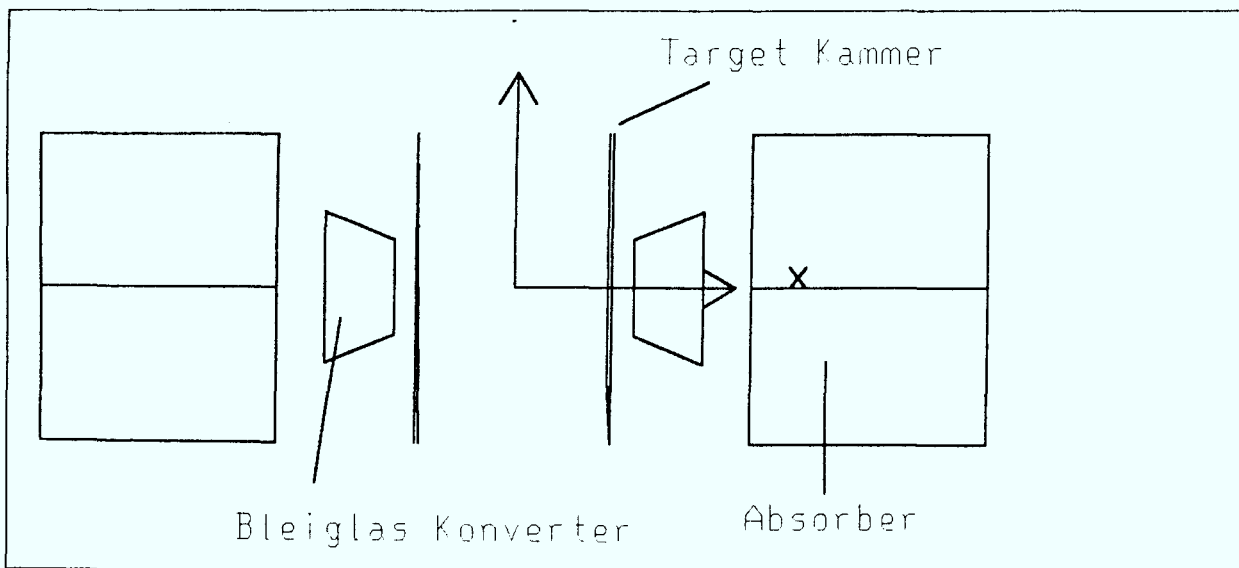


Abbildung 2.3: Vertikaler Schnitt durch die Detektorebene senkrecht zur Strahlachse.

Kapitel 3

Monte-Carlo Simulation

Nach den ersten Rechnungen, die 1957 von Wilson[18] durchgeführt worden sind, ist die Monte Carlo Methode vielfach zur Berechnung von elektromagnetischen Schauern benutzt worden. Zur Simulation der Schauerentwicklung im Detektor-Ring wurde der Computer Code GEANT3[19] verwendet. Das im CERN entwickelte Programmpaket enthält eine Fülle von Unterprogrammen, die unter anderem die Simulation von elektromagnetischen Schauern in vom Anwender definierten Materialien ermöglicht. Die Programmstruktur kann hier nur kurz umrissen werden.

3.1 Computer Code

GEANT besteht aus etwa 360 Unterprogrammen, die der Benutzer je nach Bedarf aufrufen kann. Der Ablauf ist in die drei Blöcke Initialisierung, Monte Carlo Berechnung und Terminierung eingeteilt. Zu Beginn muß die Detektorgeometrie mit den dazugehörigen Materialkonstanten spezifiziert werden. Die Monte Carlo Schleife des GEANT greift dann auf Unterprogramme zu, die zum Teil zum Programmpaket von Geant gehören und zum anderen Teil vom Programmierer bereitgestellt werden müssen. In der Initialisierungsphase werden die relevanten Datenstrukturen mit den physikalischen Konstanten (Materialkonstanten, Teilchenkonstanten, Wirkungsquerschnitte, Energieverlusttabellen) und der Detektorgeometrie gefüllt. Außerdem werden die zur späteren Speicherung der interessierenden Schauergrößen notwendigen Speicherbereiche reserviert (COMMON/JHITS/...). In der Schleife über die Ereignisse wird unter anderen die Routine GUKINE aufgerufen. In diese werden die kinematischen Größen der in den Detektor eindringenden Teilchen festgelegt. Am Ende der Berechnung eines Schauers wird der Algorithmus GUOUT (Geant User Output), den der Benutzer programmieren muß, aufgerufen. Hier besteht die Möglichkeit alle interessierenden Daten für die spätere Ausgabe, zum Beispiel in Form von Histogrammen, aufzubereiten. Die Routine GUOUT wird jedesmal aufgeru-

fen, wenn ein Ereignis¹ vollständig berechnet worden ist. An dieser Stelle wird im Falle des π^0 -Spektrometers entschieden, welche Ereignisse im Sinne einer Schalterlogik mit dem Attribut gültig oder ungültig belegt werden. Ein Ereignis heißt gültig, genau dann wenn die π^0 -Zerfallsgammateilchen im Rahmen der Detekoraufösung rekonstruierbar sind.

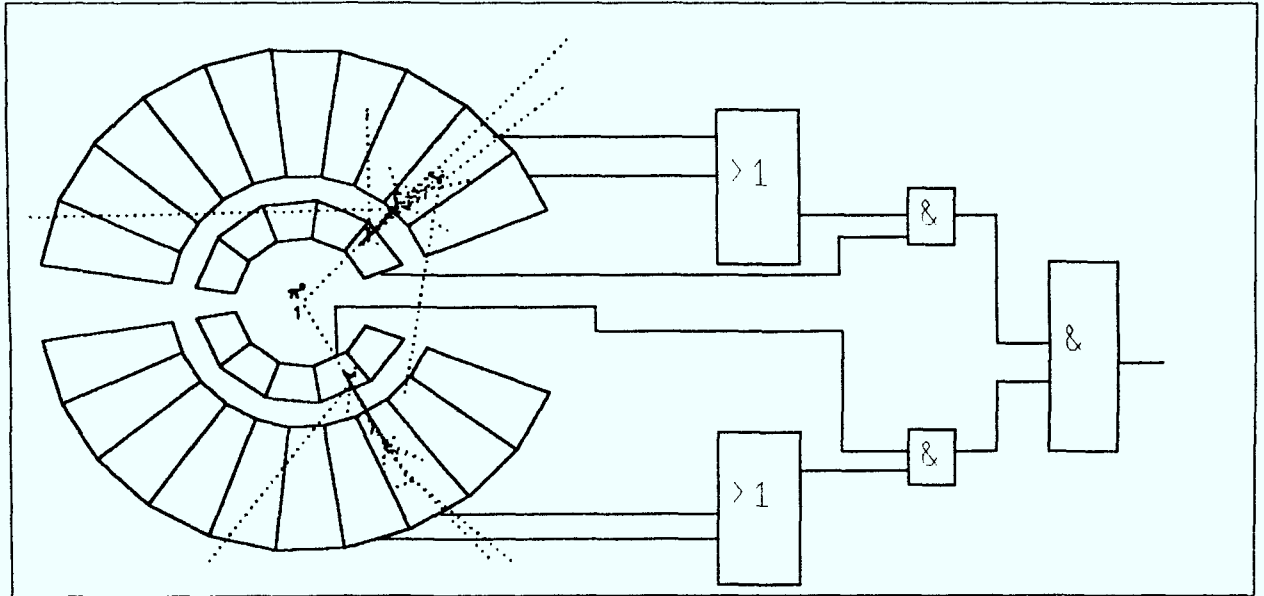


Abbildung 3.1: Prinzip der Entscheidung, ob ein Ereignis als rekonstruierbar aufgezeichnet wird .

Dem geplanten Aufbau der Nuklearelektronik entsprechend ist das der Fall, wenn für die beiden γ -Teilchen jeweils ein Konverter mit einem zum dadurch definierten Teleskop gehörigen Absorber koinzident angesprochen hat. Die Logik ist in Abbildung 3.1 für ein gültiges Event verdeutlicht, wie es von GEANT simuliert wurde. In der Terminierungsphase, die vollständig unter der Kontrolle des Benutzers steht, kann man zum Beispiel die erzeugten Histogramme auf Platte speichern.

3.2 Prinzip des π^0 Nachweises

Für alle Anwendungen findet der $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ Zerfall praktisch sofort mit der π^0 Produktion statt: Die mittlere Lebensdauer des neutralen Pions in Ruhe beträgt $0.84 \times 10^{-16} \text{s}$. Das π^0 Spektrometer detektiert die π^0 's und mißt deren Energie und Richtung durch Messen der Richtungen und Energien der beiden Gammastrahlen dieses Zerfallskanals.

¹ein Ereignis (engl. event) sei gleichbedeutend mit der Emission eines π^0 's aus dem Target, also am Primärvertex.

Die Emissionsenergie des Pions läßt sich wie folgt aus dem Relativwinkel der γ -Teilchen und deren Energie bestimmen [20]:

$$W_{\pi^0}^2 = \frac{2m_0^2}{(1 - \cos \Theta)(1 - X^2)}, \quad (3.1)$$

wo

$$X = \frac{E_1 - E_2}{E_1 + E_2} \quad (3.2)$$

den Asymmetriefaktor bedeutet. Der π^0 Laborwinkel ist, da die Summe der Projektionen der Gamma Impulsvektoren gleich der Projektion des π^0 -Impulsvektors ist, durch

$$\cos \eta_{\pi^0} = \frac{E_1 \cos \eta_1 + E_2 \cos \eta_2}{\sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 \cos \Theta}} \quad (3.3)$$

gegeben. Die invariante Masse m_{π^0} (134.9642 MeV) ist

$$P^2 = m_{\pi^0}^2 c^4 = \left[\begin{array}{c} E_1 + E_2 \\ \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 \end{array} \right]^2, \quad (3.4)$$

was wegen $E_i = |\mathbf{p}_i|$

$$m_{\pi^0}^2 c^4 = 2|\mathbf{p}_1||\mathbf{p}_2|(1 - \cos \Theta)c^2 \quad (3.5)$$

ergibt. Die Auflösung der invarianten Masse ist also:

$$4\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 = \left(\frac{\Delta E_1}{E_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E_2}{E_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \Theta}{\tan(\Theta/2)}\right)^2. \quad (3.6)$$

3.3 Energieverlust Rechnung in GEANT3

Für die vollständige Simulation eines gegebenen Prozesses (Bremsstrahlung, Paarerzeugung, Photoeffekt, etc.) werden diverse Schritte ausgeführt:

1. zu Beginn der Spur: berechne die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer Wechselwirkung (WW);
2. während der Spurberechnung: überwache die gesamte Spurlänge und die neuen Wahrscheinlichkeiten eines Prozesses. Der entsprechende Code ist direkt in den Routinen GTELEC, GTGAMMA, GTMUON, GTHADR, und GTNEUT implementiert;
3. findet eine WW statt, so generiere die Endzustandsteilchen;

4. überlebt das Teilchen aus dem Eingangskanal die WW, so berechne die Wahrscheinlichkeit für eine WW erneut (d.h. gehe zu Schritt 1). Eine genauere Beschreibung entnehme man bitte [19].

Leider ist es nicht möglich innerhalb des Algorithmus ², der je nach Teilchensorte die für die "Monte-Carlierung" der verschiedenen Teilchenspuren zuständigen Unterprogramme³ aufruft, auf die Beträge der Energieverluste mit den dazugehörigen verantwortlichen Prozessen zuzugreifen. Nachdem das jeweilige Unterprogramm seine Berechnungen beendet hat, steht lediglich eine Information derart zur Verfügung, daß beispielsweise ein Elektron⁴ in den beiden sukzessiven Prozessen Vielfachstreuung und Bremsstrahlung insgesamt die Energie⁵ 1.4 MeV abgegeben hat. Deshalb kann man den Modus der Energieabgabe lediglich nach Teilchensorten und nicht nach physikalischen Prozessen getrennt untersuchen. Die Abbildung 3.2 zeigt, zu welchem Prozentsatz die unterschiedlichen Partikel am Energieverlust beteiligt waren. Man erkennt, daß der weitaus größte Anteil der Energie von Elektron Positron Paaren im Detektor deponiert wird. Im dritten Histogramm ist der prozentuale Anteil der Energieabgabe im wesentlichen in Form von Bremsstrahlung aufgetragen. Von der im Bleiglas abgegebenen Energie sind also nur etwa fünfzig Prozent für den angekoppelten Photomultiplier sichtbar. Das bedeutet, daß die Energieauflösung von SF5 wesentlich davon abhängt, wie groß die Fluktuationen in den beteiligten physikalischen Prozessen sind: Ist das Verhältnis von Bremsstrahlprozessen zu den anderen weitestgehend konstant, so handelt es sich lediglich um ein Eichproblem. Bei Schwankungen gehen diese direkt in das Energieauflösungsvermögen des Detektors ein. Die Schauersimulation kann bezüglich des Auflösungsvermögen nur einen Anhaltspunkt liefern. N. Herrmann u. a. haben in einem Experiment[21] in Mainz mit monoenergetischen Photonen gezeigt, daß im Gegensatz zur Schauersimulation (vergl. Abb. 3.2) nicht ein Gauss-förmiges Verhalten zutrifft, sondern ein beträchtlicher Hochenergieanteil auftritt (vergl. Abb. 3.3). N. Herrmann et al. bestimmten die Energieauflösung mit Hilfe einer Kurvenanpassung bestehend aus einem Gauss-förmigen und einem Exponentialanteil zu

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{4.19}{\sqrt{E/[MeV]}}$$

Das durch Schauer in transparenten Medien emittierte Čerenkov-Licht ist durch die insgesamt von den Elektronen/Positronen zurückgelegte Wegstrecke bestimmt[16]. Diesen Effekt kann man dazu ausnutzen, den Čerenkov-Licht Anteil bei der Energieverlustrechnung im Monte Carlo Program herauszufiltern. Dies wurde insbesondere in den Arbeiten

²GTVOL- Geant Tracking inside a Volume

³GTGAMMA, GTELEC, GTMUON[19, TRACK200-1]

⁴hier wird also die Kontrolle an das Programm GTELEC übergeben

⁵im Quell Text ist der entsprechende Wert in der Variablen DESTEP abgelegt

[22][16] detailliert untersucht.

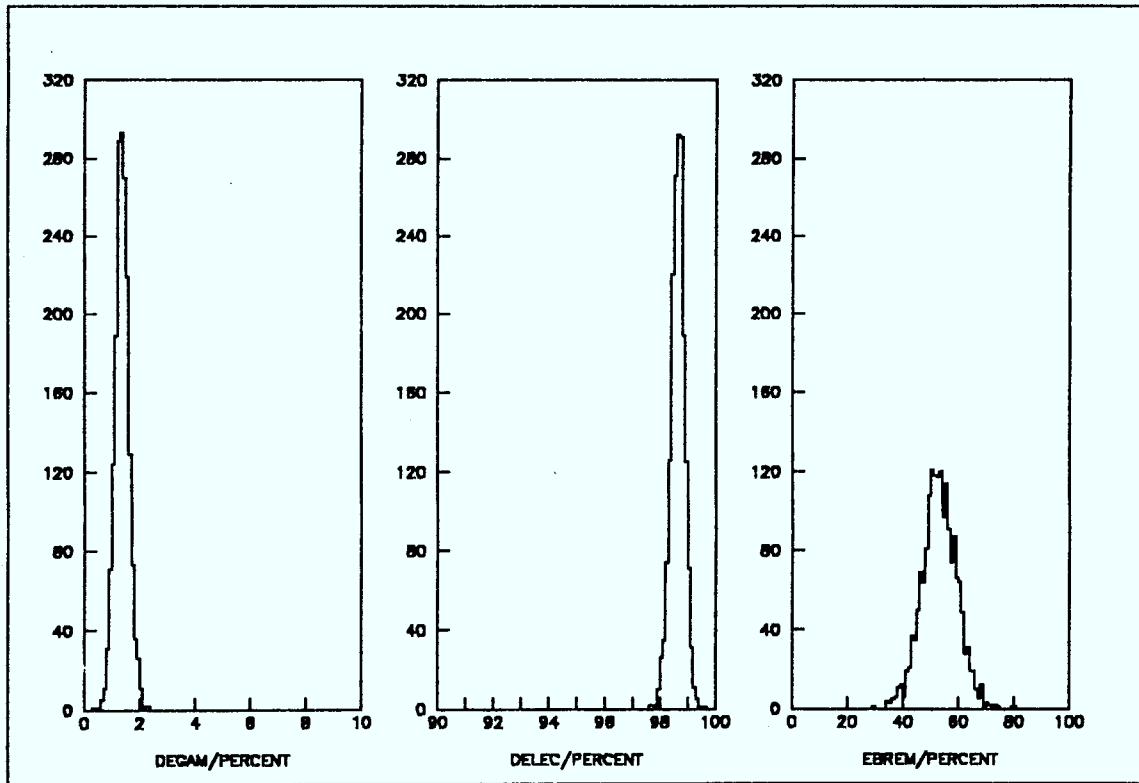


Abbildung 3.2: Prozentualer Anteil der Energieabgabe durch γ 's (Paarerzeugung, Comptonstreuung, Photoeffekt) (links) e^\pm überhaupt (Energieverlust unterhalb der kritischen Energie, Vielfachstreuung, Bremsstrahlung, Annihilation) (Mitte) und durch e^\pm Teilchen, die ihre Energie im wesentlichen in Form von Bremsstrahlung abgegeben haben (rechts).

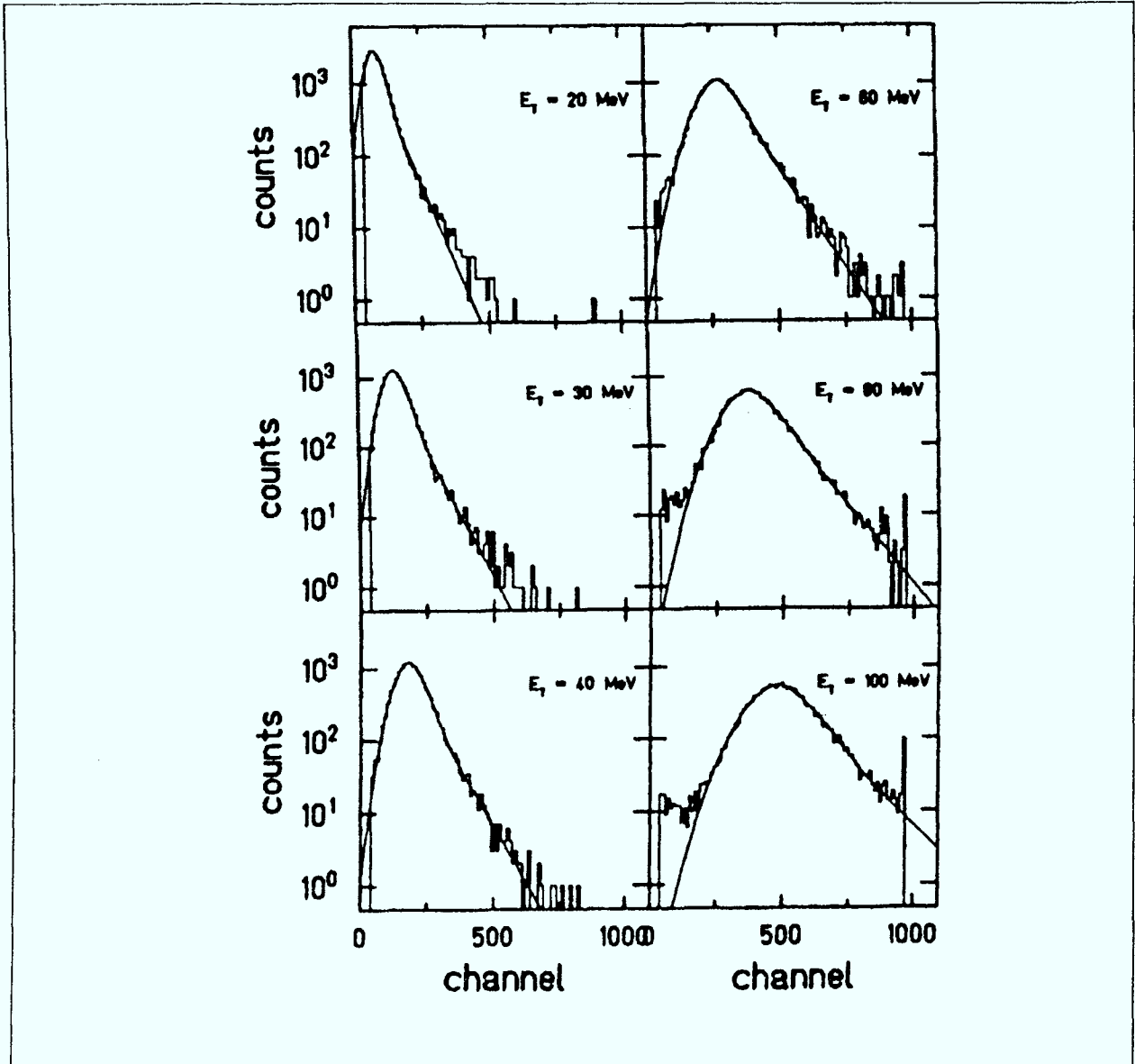
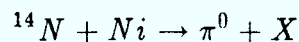


Abbildung 3.3: Bleiglas Energie Spektren für monoenergetische Photonen aus einer Messung von N. Herrman u. a.(GSI 1986)

3.4 π^0 Generator

Ausgangspunkt der Simulation eines Ereignisses im Detektor ist immer die Teilchenproduktion. Sowohl im angelsächsischen als auch im deutschen Sprachgebrauch ist der Begriff Eventgenerator etabliert worden. Allen Eventgeneratoren liegt ein Monte Carlo Prozeß zugrunde, der den Phasenraum aller beteiligten Teilchen exklusiv⁶ gemäß einer bestimmten Wahrscheinlichkeitsverteilung abtastet. Ein solcher Eventgenerator ist das Programm FOWL, das aus dem CERN⁷ stammt und hier verwendet wurde. Die Energieverteilung der neutralen Pionen aus der Reaktion



mit einer Strahlenergie von 35 MeV/ Nukleon kann über alle Pionenemissionswinkel Θ_{π^0} integriert als Exponentialfunktion angenähert werden[23]. Stachel u a. fanden experimentell einen inversen Slopeparameter von etwa 23 MeV. Für eine realistische Abschätzung der Detektoreffizienz wird als Näherung eine isotrope Winkelverteilung angenommen. Da der Eventgenerator FOWL nicht die Möglichkeit bietet, den emittierten Pionen eine exponentiale Energieverteilung einzuprägen, mußte ein eigener Eventgenerator programmiert werden.⁸ Dieses geschieht durch entsprechende Gewichtung. Die Methode des gewichteten Summierens (importance sampling) besteht anschaulich gesprochen darin, in den Gebieten, wo der Funktionswert der Originalverteilung größer ist, häufiger zu würfeln[24]. Im Falle der exponentialen Wahrscheinlichkeitsverteilung läßt sich dieses Ziel durch eine analytische Transformation optimal⁹ erreichen. Bei einer Gleichverteilung ist die Wahrscheinlichkeit $p(x)dx$ eine Zahl zwischen x und $x + dx$ zu erzeugen durch

$$p(x)dx = \begin{cases} dx & 0 < x < 1 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (3.7)$$

gegeben. Sei x nun eine Zufallszahl aus einer Gleichverteilung und $y(x)$ eine gewünschte Funktion von x . Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $p(y)dy$ ist durch das Grundgesetz der Transformationen von Wahrscheinlichkeiten wie folgt gegeben: [25]

$$|p(y)dy| = |p(x)dx| \quad (3.8)$$

oder

$$p(y) = p(x) \left| \frac{dx}{dy} \right|. \quad (3.9)$$

⁶Eine exklusive Beschreibung legt alle Teilchen im Eingangskanal und im Ausgangskanal im Phasenraum fest.

⁷CERN= Centre Européenne pour la Recherche Nucléaire

⁸ursprünglich war geplant, die "FOWL-Eventsnachträglich auf eine Exponentialverteilung zu renormieren. Das führt aber zu falschen Ergebnissen (s. auch 3.7).

⁹jede generierte Zufallszahl liegt innerhalb der Verteilung

Die senkrechten Striche markieren hier die inverse Jacobi-Matrix. Das Transformationsverhalten ist im mehrdimensionalen ganz entsprechend. Sei nun

$$f(y) = A \cdot e^{-\frac{y}{y_0}} \quad (3.10)$$

die gewünschte Wahrscheinlichkeitsverteilung $p(y)$ der y 's. Dann muß wegen 3.9 die Differenzialgleichung

$$\frac{dx}{dy} = f(y) \quad (3.11)$$

gelöst werden. Die Gleichung wird durch $x = F(y)$, wo $F(y)$ das unbestimmte Integral von $f(y)$ ist, gelöst:

$$F(y) = \int f(y)dy = -y_0 \cdot A \cdot e^{-\frac{y}{y_0}}. \quad (3.12)$$

Die gesuchte Transformation, welche eine Gleichverteilung auf eine Exponentialverteilung abbildet, ist deshalb:

$$y(x) = F^{-1}(x) = -y_0 \ln\left(-\frac{F(y)}{y_0 A}\right), \quad (3.13)$$

wobei $F(y) = x$ die gleichverteilte Zufallszahl ist.

3.5 π^0 Rekonstruktionsalgorithmus

Am Ende eines jeden Events wird im Unterprogram GUOUT die Reaktion des Detektors (engl. Detektorresponse) simuliert. Dazu werden die Orts- und Energieinformation eines Schauers der Detektorgeometrie entsprechend soweit reduziert, daß die Ortsinformation im Prinzip in Modulnummern und die Energieinformation in Energieabgabe pro Modul zusammengefaßt wird. Die von Geant pro Energieschritt berechneten Größen werden also auf solche pro Modul reduziert.

Die Ortsinformation läßt sich durch Bestimmung des Schauerschwerpunktes noch etwas verbessern. Nach diesen von der Detektorgeometrie abhängigen Berechnungen wird die Hypothese überprüft, ob die beiden koinzident beobachteten γ -Teilchen die Ruhemasse des neutralen Pions besitzen. Die Routine GUOUT macht von der Beziehung 3.5 Gebrauch. Außerdem wurde die Möglichkeit den Asymmetriefaktor X (s. Gl. 3.2) als Diskriminator zu verwenden implementiert. H.W. Baer u. a. haben vorgeschlagen [20], auf diese Art die Energiebestimmung des Pions nach Gleichung 3.1 nur wenig von der Energiebestimmung der Gammas abhängig zu machen. Eine solche Vorgehensweise erfordert eine gute Winkelbestimmung. Es ist daher großer Wert darauf gelegt worden, diese rechnerisch zu optimieren.

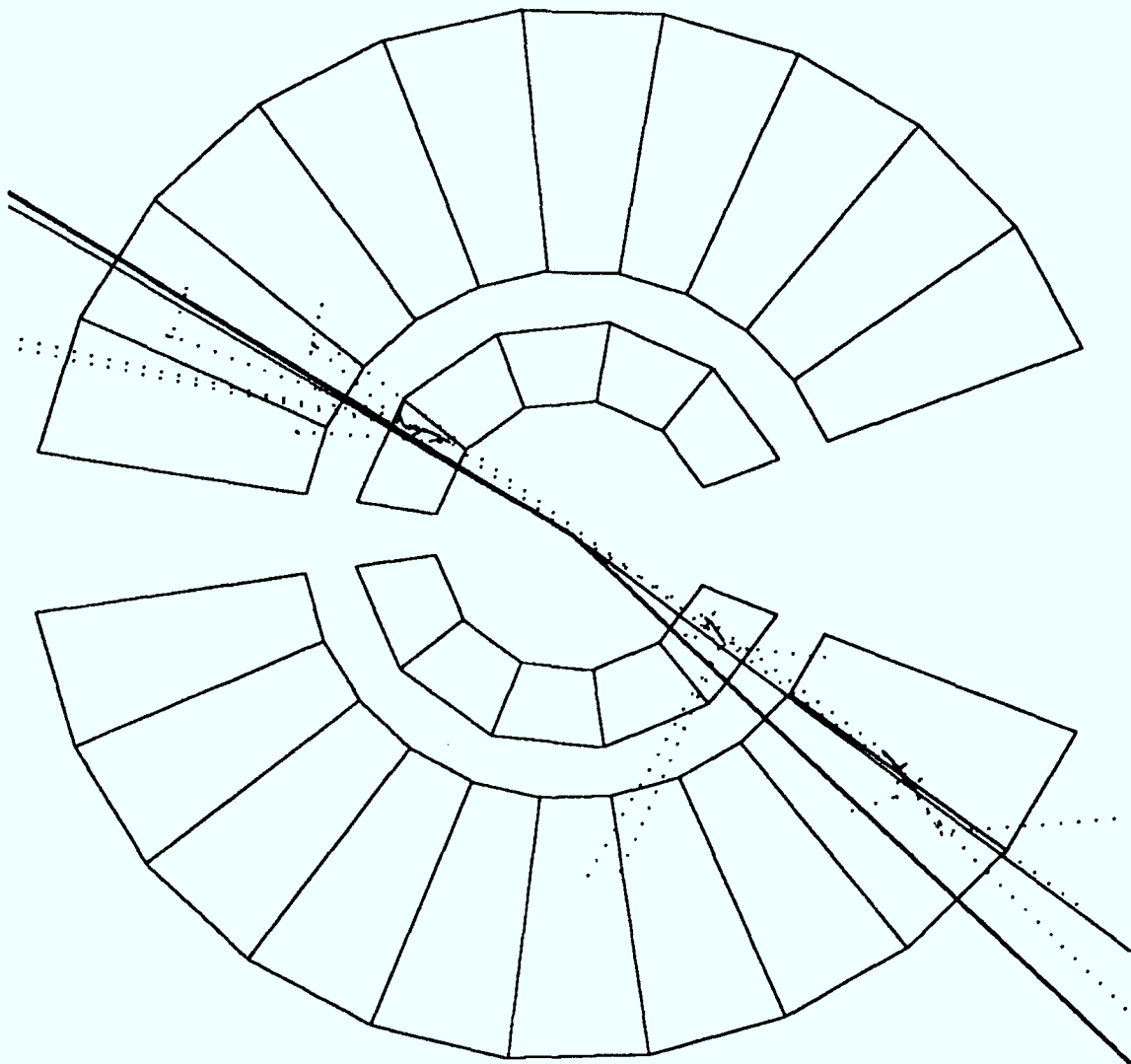


Abbildung 3.4: Winkelbestimmung mit und ohne Gewichtung. Die dünne Linie liegt in Richtung des Schauerschwerpunktes, die dicke in Richtung zum Mittelpunkt des Moduls, in dem die meiste Energie deponiert worden ist.

3.5.1 Winkelbestimmung

Nach einer Idee von E. Grosse (GSI), wurde in der Routine GETANG die Richtung der γ -Teilchen durch Bildung des Energieschwerpunktes der vier zu einem Teleskop gehörigen Absorbermodule gebildet. Die Abbildung 3.4 zeigt ein typisches Ereignis, wie es im GEANT berechnet wurde mit den in GETANG berechneten Richtungsvektoren. Bei einer einfachen Analyse würde man die Richtung eines Gammas mit dem Mittelpunktvektor des Moduls identifizieren, in dem die meiste Energie deponiert wurde.

Das Bild zeigt deutlich, wie durch die Schwerpunktsbildung die Bestimmung der Richtung verbessert wird. Die Detektorgranularität wird also verfeinert. Das Korrekturverfahren ist nicht immer ganz unproblematisch, wie die Abbildungen 3.5-3.7 zeigen. Auf der Ordinate ist die tatsächliche Position des Schauermittelpunktes aufgetragen und auf der Abszisse der Fehler der sich ergibt, wenn man mit und ohne Energiegewichtung rechnet. Immer dann, wenn der Schauer außerhalb des Teleskops Energie deponiert, also immer dann, wenn die Energiebestimmung sowieso schlecht ist, korrigiert das Wichtungsverfahren falsch. Insbesondere sieht man, daß selbst bei wohldefinierter und kleiner Lateralausdehnung die Korrektur nur zwischen den Mittelpunkten der Moduln wirkt. M. Lebrun et al. haben 1979 gezeigt[13], daß für γ -Teilchen mit nicht zu niedrigem Impuls die Ausdehnung des Schauers in den Moduln hinreichend klein ist. Bei einer γ -Teilchenenergie von mindestens 80 MeV kann man diese Voraussetzung als gegeben annehmen. Das im Unterprogramm GETANG realisierte Verfahren der Richtungsbestimmung eines γ -Teilchen wurde überprüft, indem die tatsächliche Richtung mit der rekonstruierten verglichen wurde. Da der Fehler sehr davon abhängt, ob das γ -Teilchen zwischen die vier Mittelpunkte der zu einem Teleskop 2.2 gehörigen Absorber trifft, wurde Abbildung 3.9 zur Verdeutlichung gewählt. Auf der Ordinate ist die Abweichung des rekonstruierten Winkels des γ -Teilchenimpulsvektors mit der Strahlachse von dem tatsächlichen Winkel aufgetragen. Auf der Abszisse ist der tatsächliche Winkel des Gammaimpulsvektors mit der Strahlachse aufgetragen. Die Intensität gibt die Häufigkeit wieder. Aus praktischen Gründen wurden nur die Projektionen in die horizontale Detektorebene betrachtet. Die linke Farbmatrix enthält die Fehler, die entstehen, wenn man zur Richtungsbestimmung lediglich die Position des Absorbermoduls benutzt, in dem die meiste Energie deponiert wurde. In der rechten Farbmatrix ist von der Energieschwerpunktsbestimmung Gebrauch gemacht worden. Man sieht, daß sich ähnliche Verhältnisse wie in Abbildung 3.6 unten ergeben. Das bedeutet, daß das Korrekturverfahren innerhalb des durch die vier Absorbermittelpunkte gebildeten Bereiches hervorragend wirkt und außerhalb desselben keine Verschlechterung verursacht. Der Vergleich zwischen den beiden Spektren in Abbildung 3.10 zeigt, daß die Winkelbestimmung bei der Rekonstruktion der Ruhemasse des Pions nur unwesentlich zur Verbreiterung des Massenspektrums beiträgt. Der wesentliche Fehleranteil wird also nach Gleichung 3.6 durch den Fehler der beiden γ Energien bedingt.

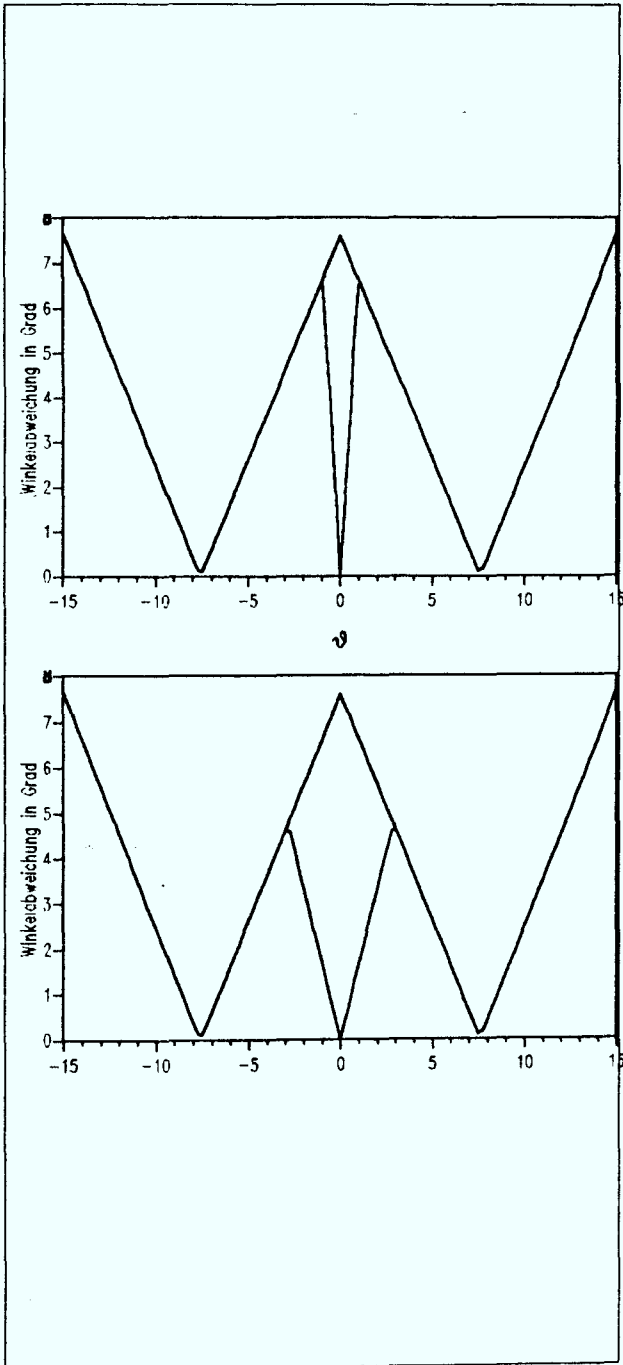


Abbildung 3.5: Winkelbestimmung mit und ohne Gewichtung. Oben ist ein Schauerradius von 0.5 cm und unten einer von 1.5 cm angenommen worden.

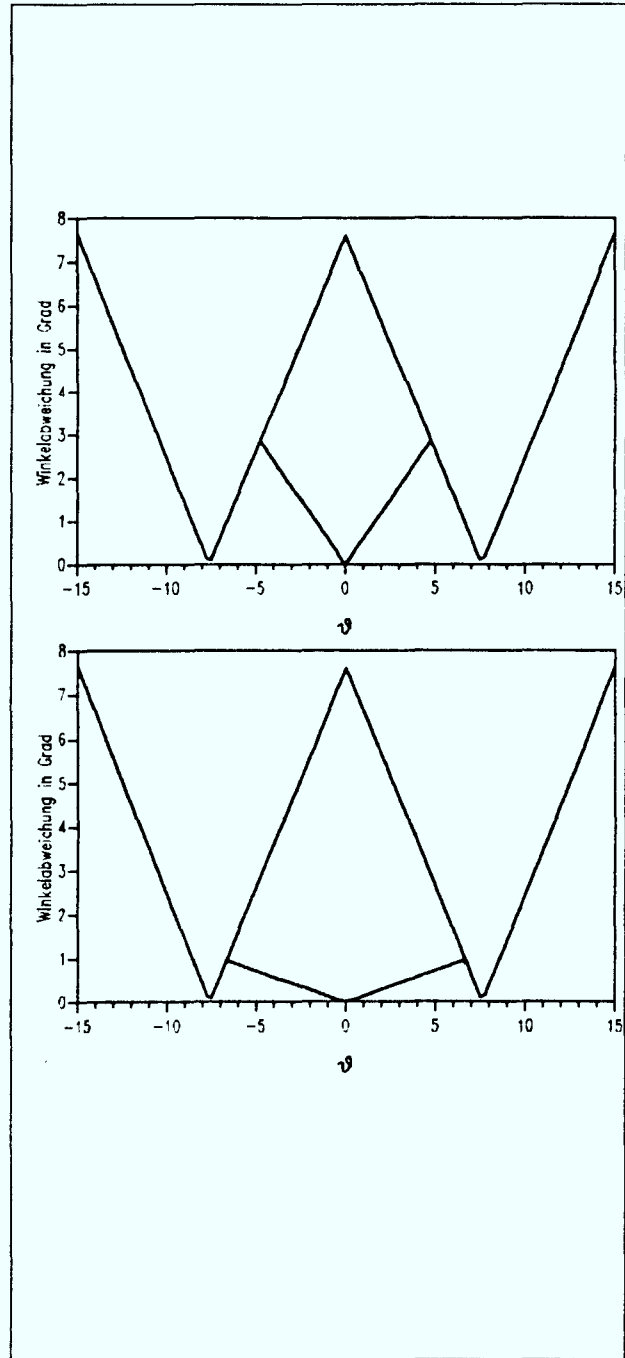


Abbildung 3.6: Winkelbestimmung mit und ohne Gewichtung. Oben ist ein Schauerradius von 2.5 cm und unten einer von 3.5 cm angenommen worden.

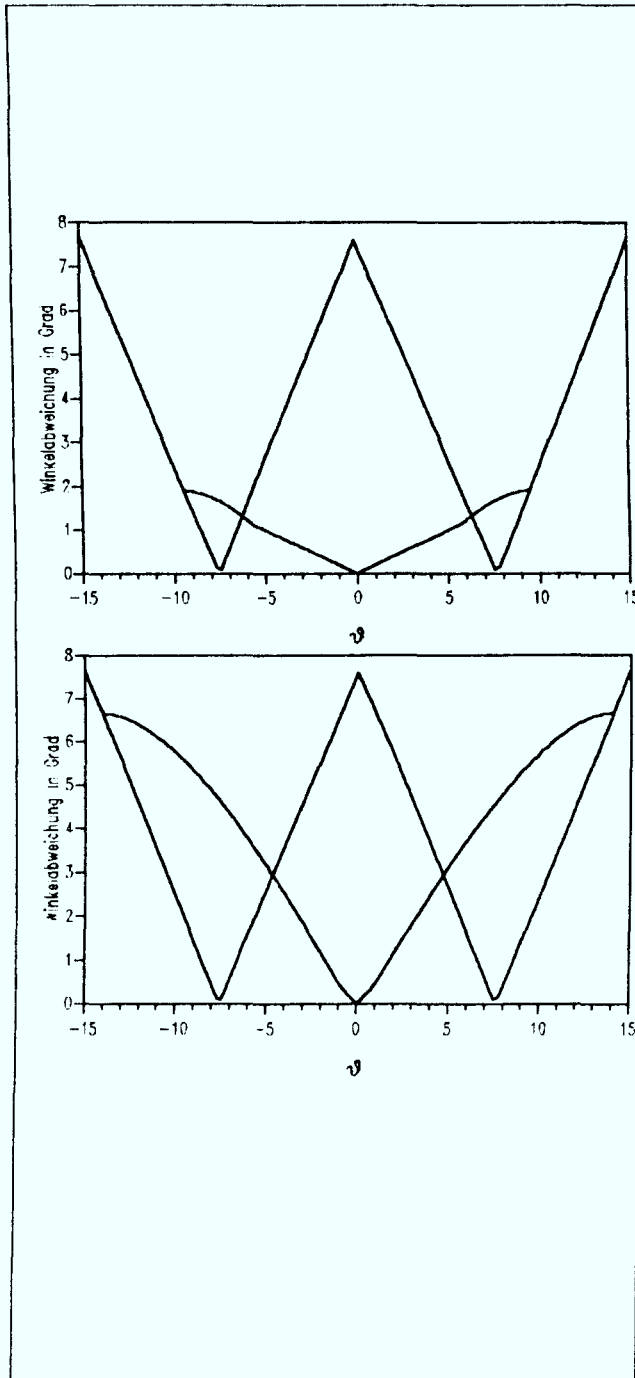


Abbildung 3.7: Winkelbestimmung mit und ohne Gewichtung. Oben ist ein Schauerradius von 5 cm und unten einer von 7.5 cm angenommen worden.

Der Einfachheit halber wurde das Verfahren mit nur zwei benachbarten Absorbern, deren Mittelpunkte die Winkelpositionen -7.5° und $+7.5^\circ$ haben, idealisiert gerechnet. Bei 0° berühren sich die Absorber. Hier ergibt sich die größte Diskrepanz zwischen den beiden Verfahren. Der Fehler ist minimal(maximal) mit (ohne) Energiegewichtung.

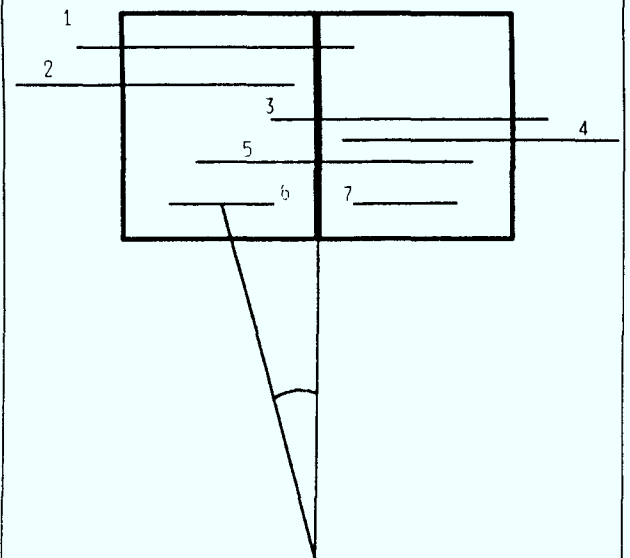


Abbildung 3.8: Verschiedene Möglichkeiten der prinzipiellen Schauerpositionen unter Berücksichtigung der Lateralausdehnung des Schauers

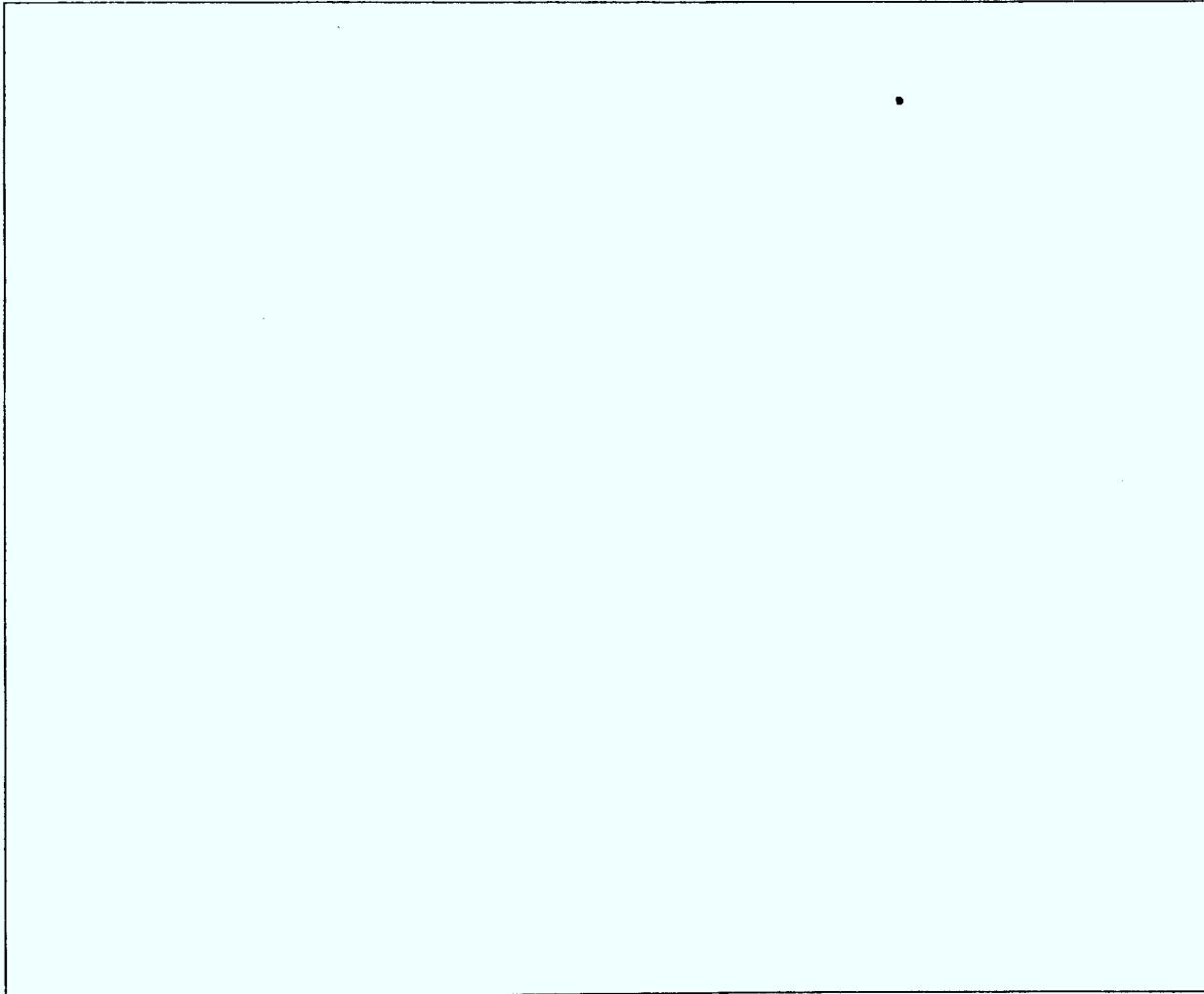


Abbildung 3.9: Auf der Ordinate sind die Winkelabweichungen und auf der Abszisse die tatsächlichen Polarwinkel der γ -Teilchen in 5° -Schritten aufgetragen. Auf der linken Seite wurden die Absorbermodulmittelpunkte zur Richtungsbestimmung benutzt. Auf der rechten Seite wurde mit Energiegewichtung gerechnet. Man sieht, wie durch die Energiegewichtung die Fehler zwischen den Absorbermittelpunkten deutlich verkleinert werden.

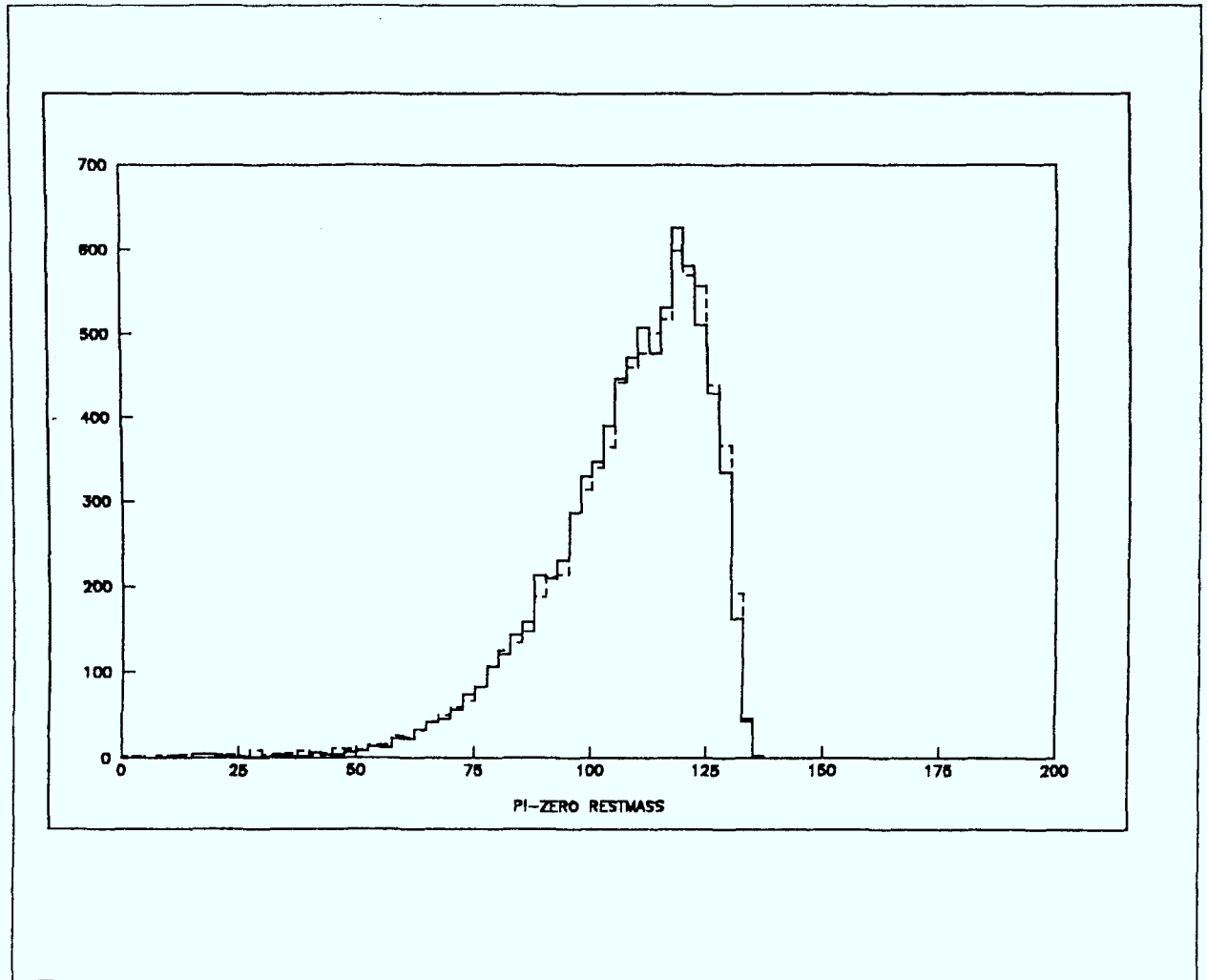


Abbildung 3.10: Ruhemassenspektrum des Pions einmal mit Berechnung des Photonenöffnungswinkel aus den Schauerschwerpunkten (durchgezogene Linie) und einmal unter Zuhilfenahme der exakten Winkel

3.5.2 Geometrische Effizienz des π^0 Spektrometer

Die geometrische Detektoreffizienz wird als Wahrscheinlichkeit dafür definiert, daß beide γ 's aus dem π^0 -Zerfall zwei nicht benachbarte Bleiglaskonverter treffen. Die beiden Konverter dürfen nicht benachbart sein, weil sonst die Schwierigkeit im Rekonstruktionsalgorithmus bestünde, Mehrfachzählungen der Energieabgabe in den Bleiglasmodulen zu vermeiden. Eine solche Einschränkung wirkt sich besonders bei Energien oberhalb von 150 MeV aus, da besonders die symmetrischen Zerfallsereignisse verworfen werden. Es wurde eine Stichprobe von zehnmillionen Events berechnet. Die geometrische Effizienz hängt von der Richtung der Pionen im Raum und deren Impuls ab. Die Strahlrichtung entspricht einem Polarwinkel von $\theta_\pi = 0^\circ$. Die Abbildung 3.11 zeigt die über den Azimuth integrierte Effizienz in Abhängigkeit vom Polarwinkel und dem Impulsbetrag des Pions. Bei niedrigem Pionenimpuls zerfällt dieses in zwei γ -Teilchen, deren Relativwinkel nahezu 180° beträgt. Die geometrische Effizienz ist demzufolge gerade durch den vom Detektor abgedeckten Raumwinkel gegeben und eine Konstante in $\cos\theta_\pi$. Bei steigendem Impuls muß sich das Pion in der horizontalen Detektorebene bewegen, um nachgewiesen zu werden. Die Nachweiswahrscheinlichkeit sinkt deshalb drastisch auf wenige Prozent. Die steile Kante bei $\cos\theta_\pi = \pm 1$ entspricht den Polen des Koordinatensystems, wo sich das π^0 nahe der Strahlrichtung bewegt und der abgedeckte Azimuth ϕ_π deshalb größer ist. Die kleinen Unebenheiten in der Oberfläche sind auf die im Vollkreis fehlenden Module zurückzuführen.

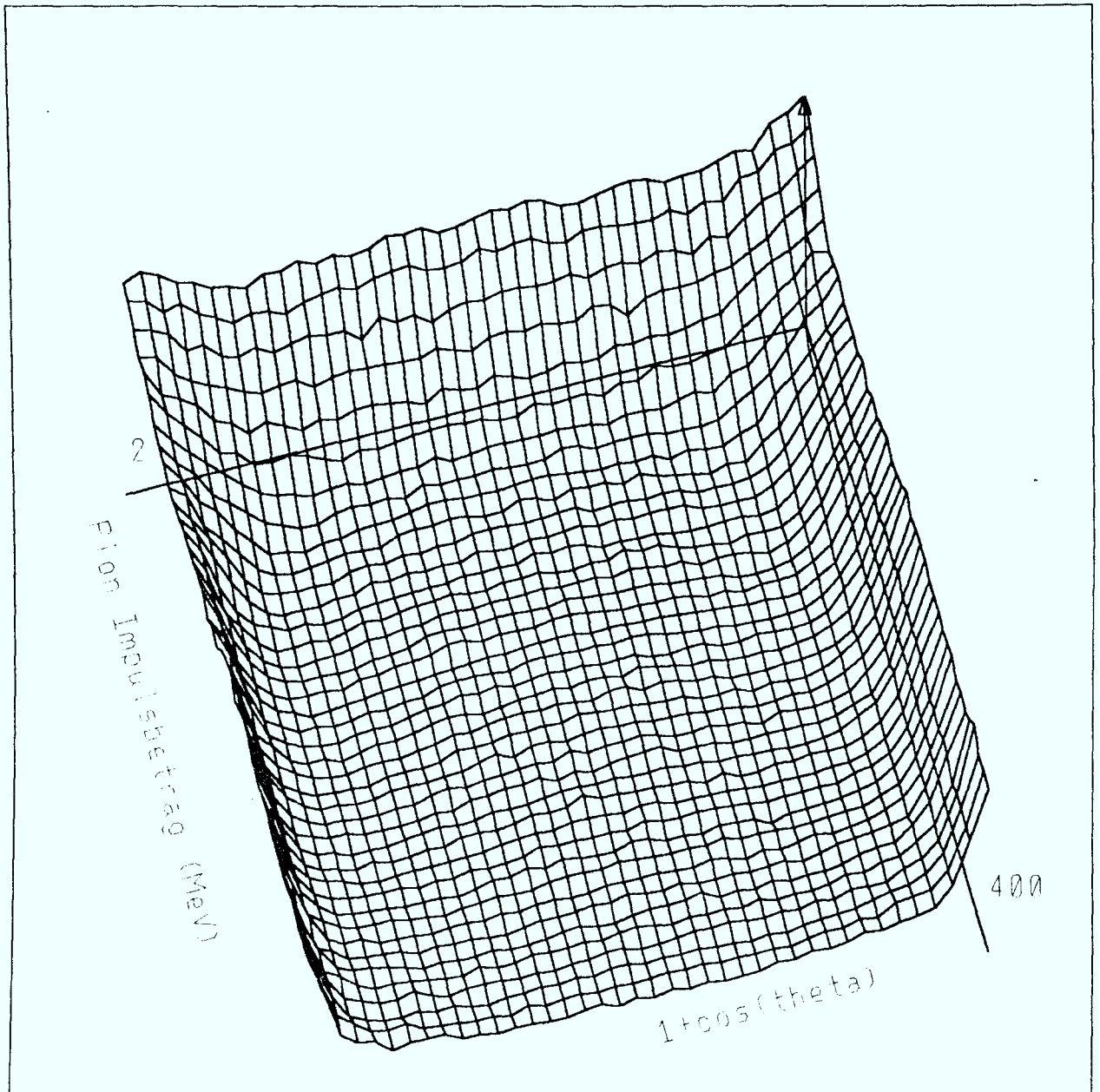


Abbildung 3.11: Geometrische Effizienz des π^0 Spektrometers. Sie wurde über ϕ_π integriert um eine zweidimensionale Darstellung als Funktion des π^0 Impulses im Bereich zwischen 0 und 400 MeV/c und von $\cos\theta_\pi + 1$ zwischen 0 und 2 zu ermöglichen.

3.5.3 γ -Konversionswahrscheinlichkeit

Neben der rein geometrischen Effizienz spielt als nächstes die Wahrscheinlichkeit dafür, daß die in die Konverter eindringenden Photonen einen elektromagnetischen Schauer initiieren, eine entscheidende Rolle für die Detektorgüte. Diese sogenannte[23] Konversionseffizienz ϵ_c ist nachstehend dargestellt:

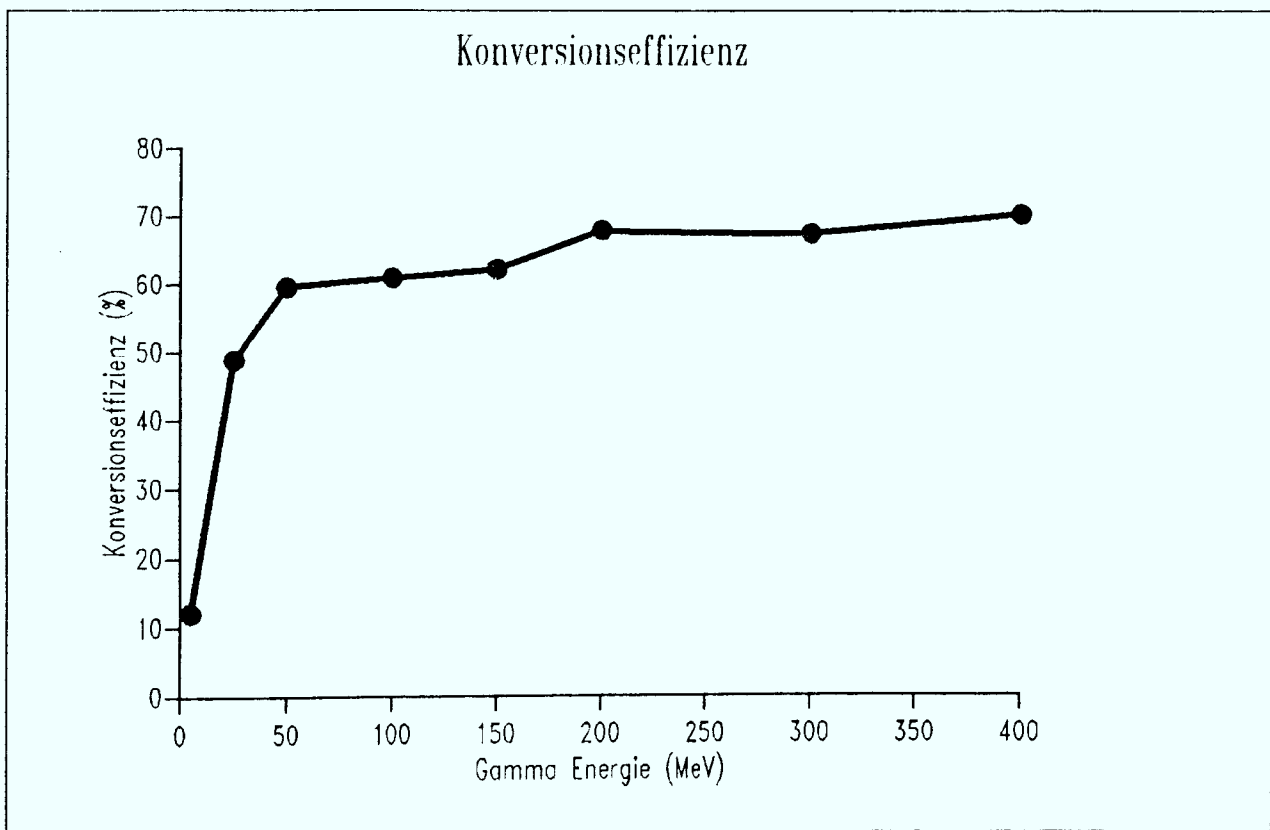


Abbildung 3.12: Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein in einem 4.35cm dicken Bleiglas-Čerenkov-Zähler ein elektromagnetischer Schauer initiiert wird (aus GEANT-Simulationsrechnungen).

Die Kurve wurde mit Hilfe von Monte Carlo Rechnungen¹⁰ erstellt. Dazu wurden für jeden markierten Kurvenpunkt 1000 γ -Teilchen mit festem Impulsvektor auf einen Bleiglas-Konverter "geschossen". Es wurden je 1000 Events mit 5MeV, 25MeV, 50MeV, 75MeV, 150MeV, 200MeV, 300MeV und 400MeV berechnet. Unterhalb von 5 MeV verschwindet die Konversionseffizienz praktisch. Sie steigt dann mit wachsender γ -Energie

¹⁰GEANT

[$\epsilon(50 \text{ MeV}) = 60\%$], und steigt schließlich für Energien oberhalb von 100 MeV nur noch langsam an. Die Werte stimmen auch mit den Ergebnissen aus Messungen mit markierten Photonen (engl. tagged photons) überein [23]. Die Histogramme 3.13 zeigen die Ergebnisse der einzelnen Monte Carlo Simulationen. Aus diesen wurden folgende Werte zur Darstellung der Kurve 3.12 extrahiert:

| E_γ [MeV] | ϵ_c [%] |
|------------------|------------------|
| 5 | 12 |
| 25 | 48.8 |
| 50 | 59.5 |
| 75 | 60.9 |
| 150 | 62.2 |
| 200 | 67.9 |
| 300 | 67.4 |
| 400 | 70.2 |

Diese Werte geben an, wieviel Photonen prozentual Energie in Form von Bremsstrahlung im Bereich größer als 1 MeV abgegeben haben.

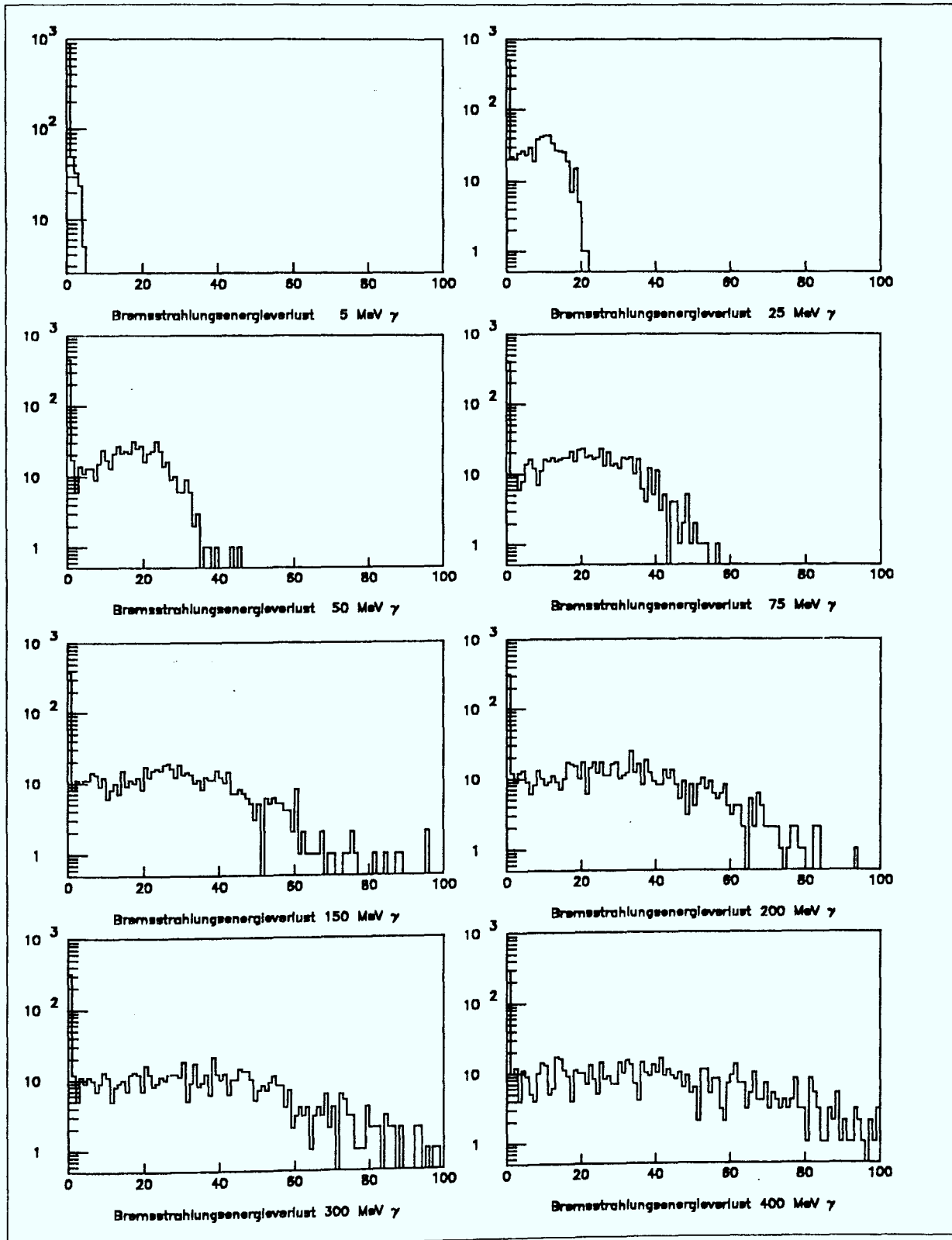


Abbildung 3.13: Energieverlust von γ -Teilchen durch Bremsstrahlung in 4 cm Bleiglas für verschiedene Einschüßenergien.

3.5.4 Konversionseffizienz von SF5 für Myonen

Während der Eichung der Bleiglaszähler sind die Anzahl der Events, die zu einem Triggersignal geführt haben und die Anzahl der Events die als gültig weggeschrieben worden sind, protokolliert worden. Da jedes Teilchen, das ein Triggersignal produziert hat, den mittleren Zähler durchdrungen haben muß, ist das Verhältnis von der Anzahl der Triggersignale zur Anzahl von Signalen vom mittleren Zähler ein Maß für die Konversionseffizienz ϵ_μ des Bleiglasmoduls.

Die Messungen ergeben einen Wert von

$$\epsilon_\mu = (91 \pm 2)\%$$

3.6 Ergebnisse der Monte Carlo Rechnungen

3.6.1 Massenverteilung der Pionen

Das wichtigste Ergebnis¹¹, die aus den beiden γ -Impulsen berechnete Ruhemasse der Pionen, ist in der Abbildung 3.14 dargestellt.

Nachdem das Histogramm mit einem kubischen Spline geglättet wurde, ergibt sich eine Halbwertsbreite (FWHM) von 35 MeV (=16%) und ein Maximum bei 112.5 MeV. Will man nur die Events als gültig betrachten, die innerhalb der Halbwertsbreite um das Maximum liegen, dann ergibt sich bei 2097 Events innerhalb dieses Bereich, da 100000 Events simuliert worden sind, eine Detektoreffizienz von 2.1%. Den niedrigeren Wert für die Ruhemasse muß man darauf zurück führen, daß nicht die gesamte Energie im Detektor deponiert wird. (engl. energy leakage). Dieser Sachverhalt läßt sich mit der unten aufgeführten Abbildung 3.15 belegen. Das Histogramm zeigt die Differenz zwischen der Energie, die das Pion hatte und der insgesamt im Detektor deponierten Energie. Die Verteilung hat bei etwa 23 MeV ein Maximum und fällt zu hohen Verlusten langsam ab.

Bei der Rekonstruktion wurden die Ereignisse verworfen, bei denen der Energieverlust eines der beiden γ -Teilchen im Zähler kleiner war als 1 MeV. Die Konversionswahrscheinlichkeit ist unterhalb von einem MeV ohnehin deutlich kleiner als 10% (s.auch 3.5.3). Ein Unterschreiten der Energieabgabe von 1MeV bedeutet, daß kein Schauer ausgelöst wurde oder daß das γ -Teilchen den Detektor nur gestriffen haben kann. Wenn man diese Ereignisse nicht aus der Verteilung wegschneidet, ergibt sich für die Ruhemasse die in Abbildung 3.14 rechts gezeigte Verteilung.

¹¹alle die Detektoreffizienz beeinflussenden Parameter sind hierbei berücksichtigt worden.

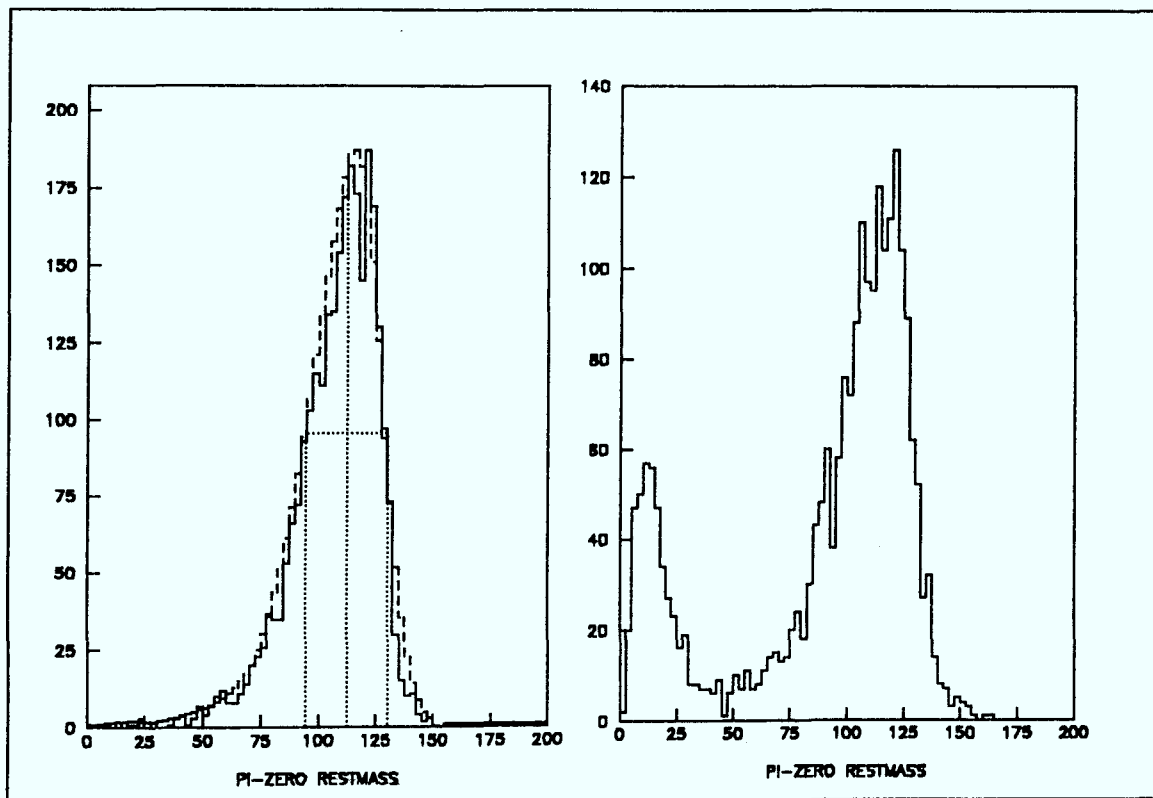


Abbildung 3.14: Aus $m^2 = 2E_1E_2(1 - \cos\Theta_{12})$ rekonstruierte Pionenmasse; das linke Histogramm ergibt sich, wenn man den Energieschnitt bei den Photonenergien bei 1MeV anbringt. Die rechte Seite enthält diese Ereignisse noch.

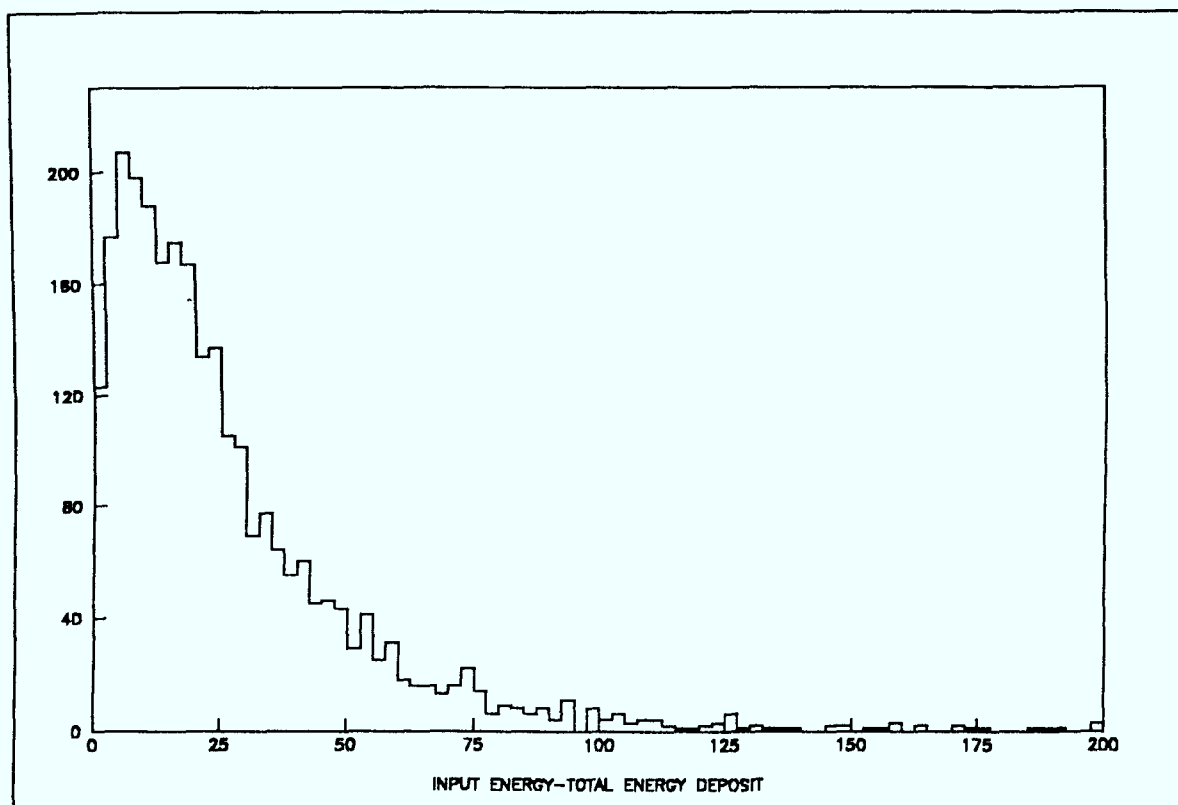


Abbildung 3.15: Differenz zwischen im Detektor deponierter Energie und Projektilenergie

3.6.2 Energieverteilung der γ -Teilchen

Ein Vergleich der beiden Histogramme in Abbildung 3.16 zeigt, wie das Spektrometer die höher energetischen Photonen diskriminiert. Die gestrichelte Kurve stellt die Energieverteilung der γ -Teilchen aus dem Pionenzerfall dar und zwar unabhängig davon ob sie im Detektor nachgewiesen werden können. Die durchgezogene Linie repräsentiert diese Verteilung nachdem sie mit der Detektorakzeptanz und seiner Energieauflösung gefaltet worden ist. Während diese Funktion symmetrisch ist, weist die ursprüngliche Verteilung (gestrichelt) einen deutlich höheren Anteil an hochenergetischen Photonen auf.

3.6.3 Winkelverteilungen

Das Histogramm 3.17 gibt die Häufigkeitsverteilung der Streuwinkel der Pionen wieder. Die Asymmetrie des Detektors bezüglich der Senkrechten zur Strahlrichtung spiegelt sich in der Asymmetrie der Winkelverteilung wieder. Die Tatsache, daß der Detektorring vorne und hinten geöffnet ist, bewirkt eine Reduktion der Nachweiswahrscheinlichkeit in Vorwärts und Rückwärtsrichtung. Diese Verteilung muß später dazu verwendet werden, die gemessenen Winkelverteilungen zu entfalten.

Die Verteilung der Photonenzerfallswinkel 3.18 belegt wie drastisch der Detektor Pionen mit großem Zerfallswinkel, also solche niedriger Energie, höher energetischen Pionen bevorzugt. Wenn es darauf ankommt Unterschwellen Pionen nachzuweisen, ist gerade dieser Effekt erwünscht. Die Ursache dafür wurde mit der geometrischen Ansprechwahrscheinlichkeit erläutert.

3.6.4 Energieverteilung der Pionen

Die Form des Energiespektrums der im Kern erzeugten Pionen und das Spektrum der vom Detektor nachgewiesenen Photonen sind verschieden. Die Abbildung 3.19 gibt das π^0 -Spektrum wieder, das der Detektor aufzeichnet, wenn er mit γ -Teilchen beleuchtet wird, die aus Pionenzerfällen von isotrop aus dem Kern emittierten Pionen stammt, die eine gleichförmige Energieverteilung im Intervall 0 bis 400 MeV aufweisen. Diese Verteilung muß dazu verwendet werden eine gemessene Energieverteilung zu entfalten.

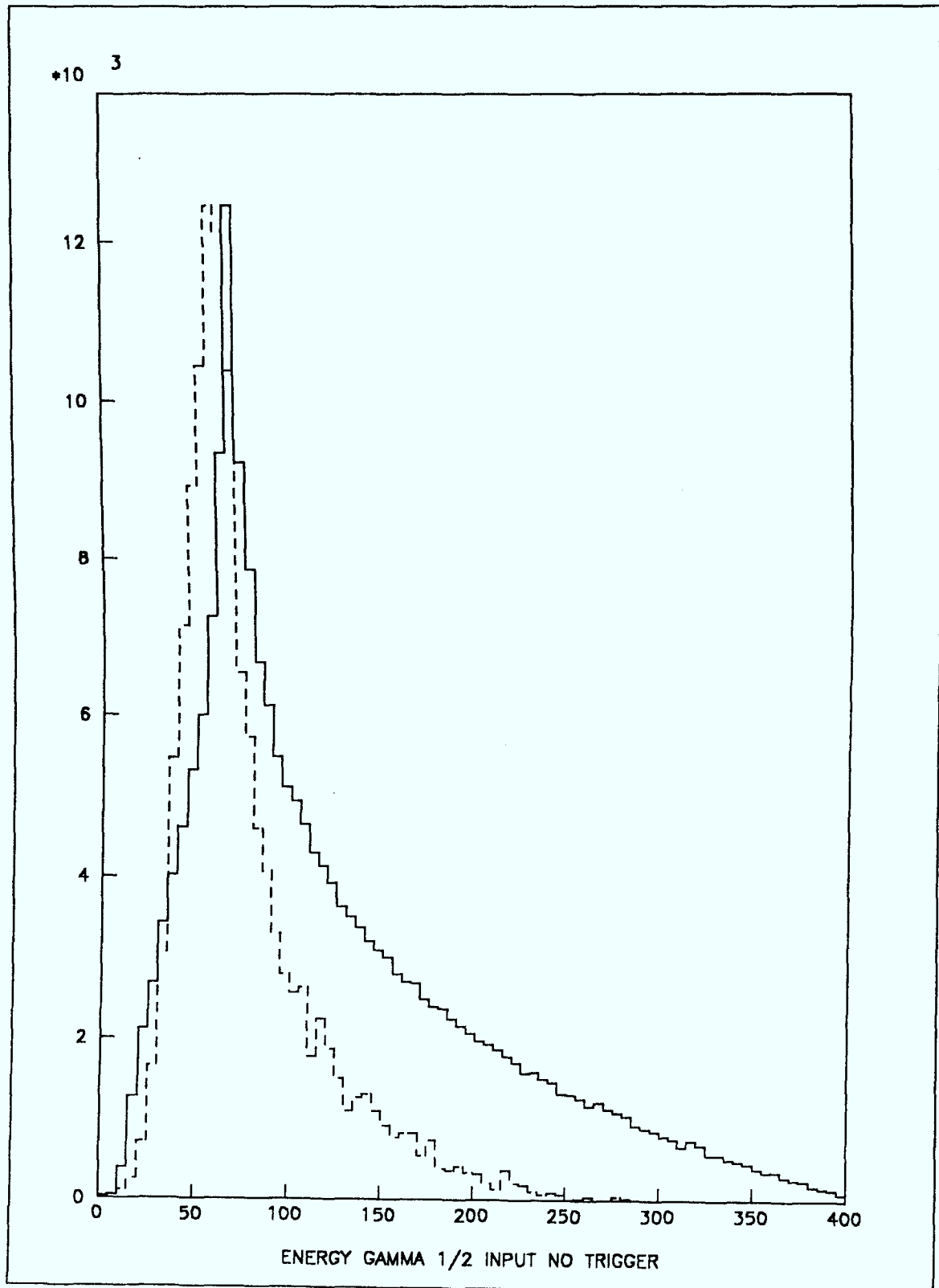


Abbildung 3.16: Das asymmetrischere Histogramm stellt die Energie- Verteilung aller erzeugten Photonen dar. Die andere Kurve enthält nur noch die Photonen, deren Signal zu einem Triggersignal geführt hat.

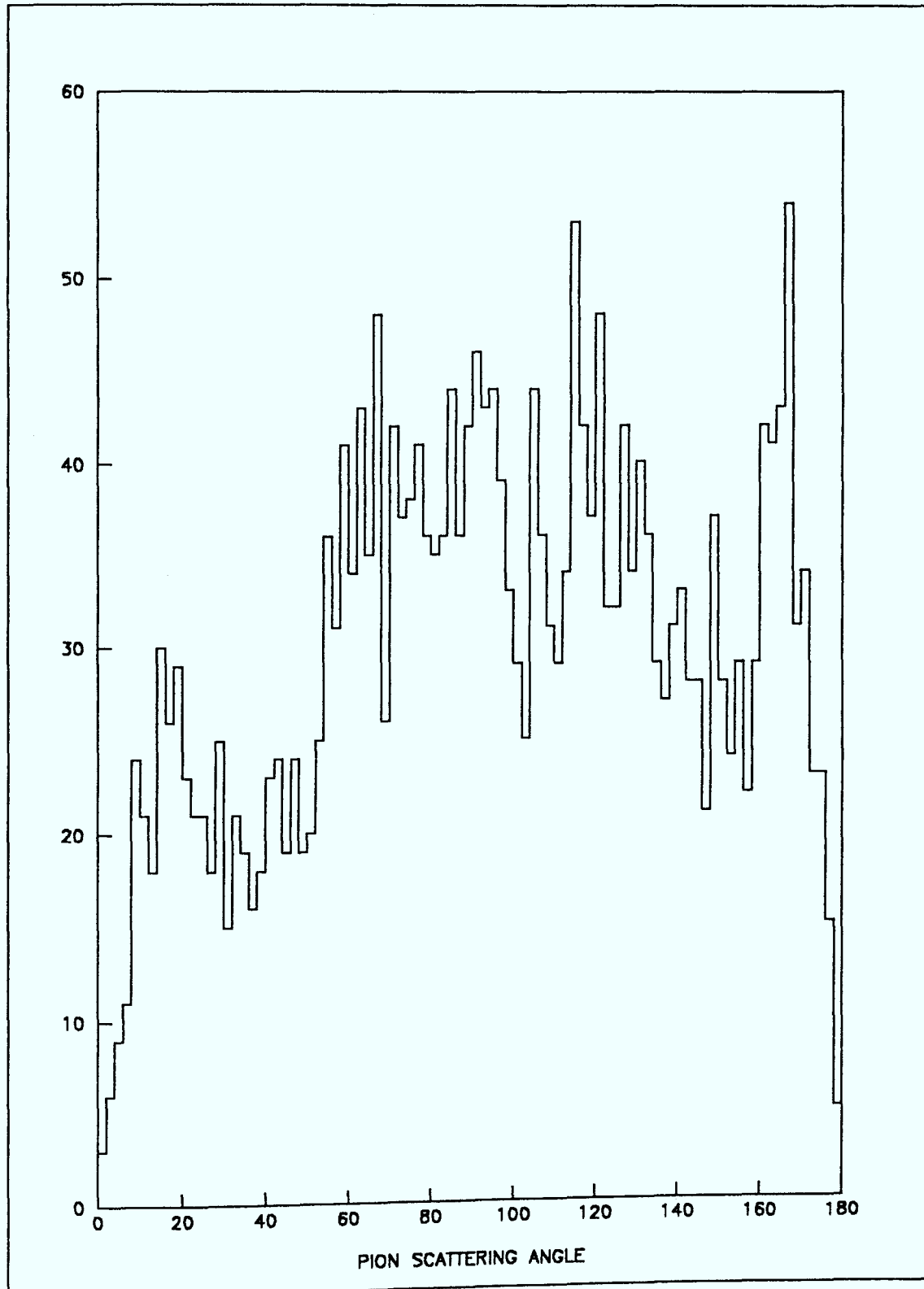


Abbildung 3.17: Winkelverteilung der nachgewiesenen Pionen.

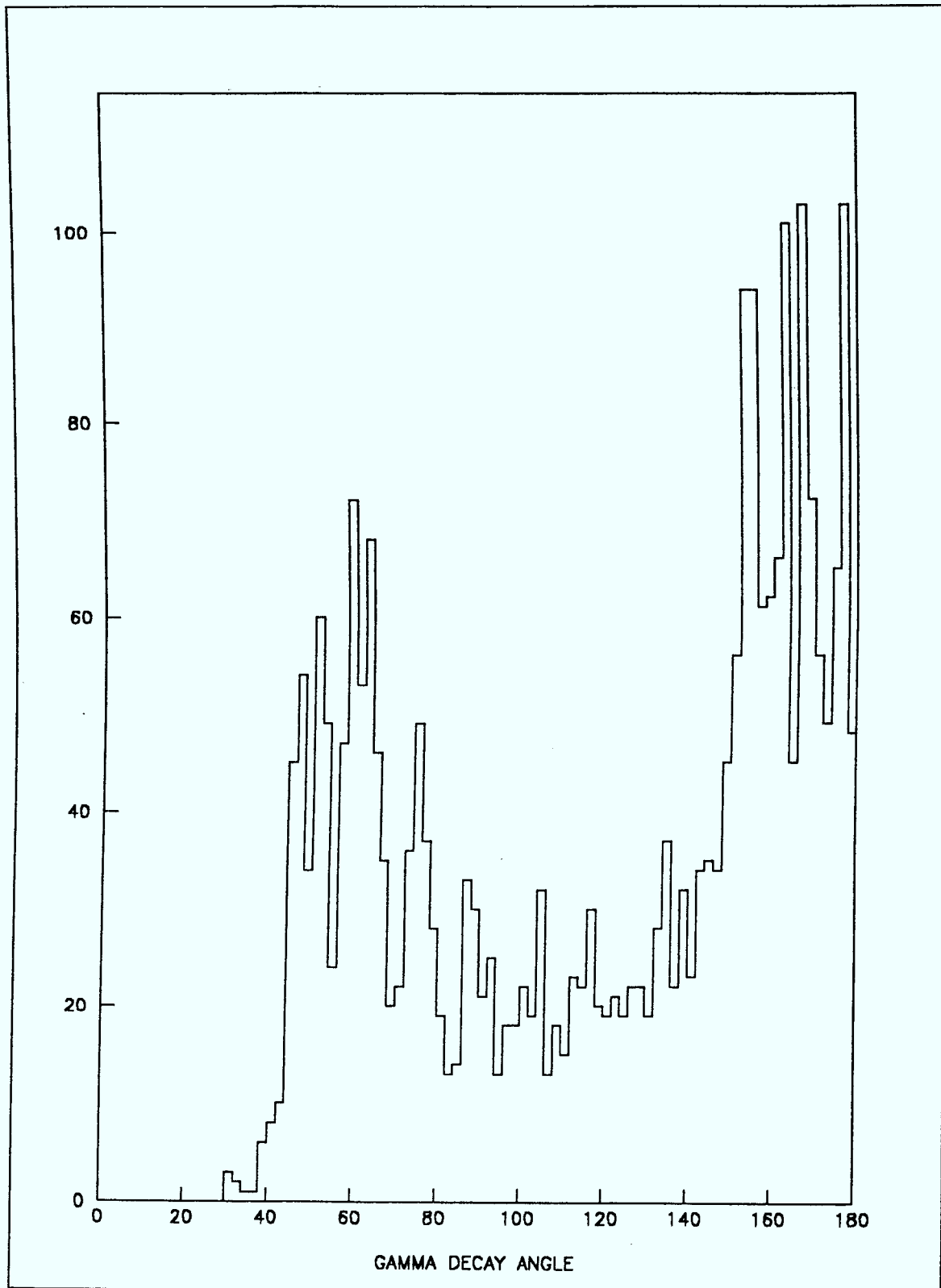


Abbildung 3.18: Öffnungswinkelverteilung der nachgewiesenen γ -Teilchen-Paare.

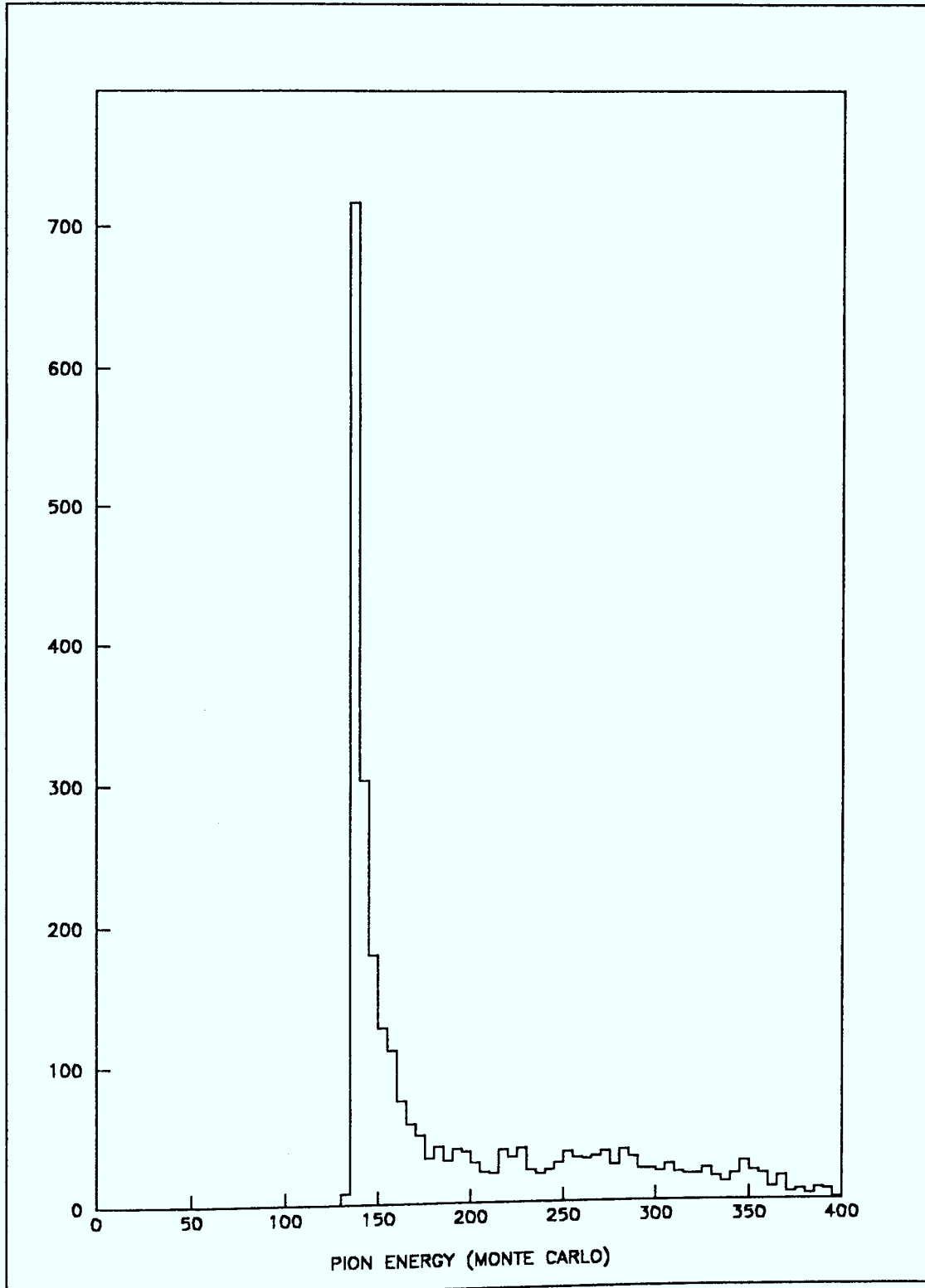


Abbildung 3.19: Energieverteilung der nachgewiesenen Pionen.

3.7 Isotrope und konstante Energieverteilung

Wenn man mit Hilfe eines Zufallszahlengenerators eine Stichprobe von zum Beispiel hundertundtausend Events derart erzeugen will, daß sich eine isotrope Verteilung der Richtungsvektoren und eine innerhalb eines bestimmten Intervalls gleichförmige Verteilung der Beträge ergibt, so muß man darauf achten ob man zuerst die Richtung und dann den Betrag "würfelt" oder umgekehrt. Es zeigt sich, daß erstere Vorgehensweise falsch ist. In diesem Fall würde man nämlich, nachdem man eine typische Stichprobe von 100000 Events im Raum isotrop generiert hätte, den Betrag jeder einzelnen kartesischen Komponente auf den gewünschten Betrag normieren. Dabei würde sich nicht nur im Betrag des Vektors eine Gleichverteilung ergeben, sondern auch in den jeweiligen Vektorkomponenten. Diese Forderung wäre aber zu streng. Isotropie im Raum und Gleichförmigkeit des Vektorbetrages ergibt sich auch, wenn man zuerst den Betrag auf dem gewünschten Intervall mit der geforderten Verteilung würfelt und dann den Vektor so transformiert, daß sich eine isotrope Richtungsverteilung ergibt. Die sich ergebenden Verteilungen für die Vektorkomponenten weichen drastisch von einer Gleichverteilung ab. Die Histogramme 3.21 zeigen diesen Effekt. Trotzdem die einzelnen Komponenten keineswegs gleichverteilt sind, ist der Betrag des Pionenimpulsvektors im dargestellten Intervall gleichförmig verteilt. Die Abbildung 3.20 erläutert wie die Verteilung der Komponenten der Impulvektoren zustande kommt. Das durchgezogene und breiteste der drei Histogramme gehört zu den Impulvektoren aus dem schmalen Impulsbereich von 100 ± 1 MeV. Das gestrichelte Histogramm entspricht Pionenimpulsen von 60 ± 1 MeV und das letzte Pionenimpulsen von 30 ± 1 MeV. Alle drei Verteilungen sind in den Komponenten gleichverteilt. Die Addition der drei Histogramme führt gerade auf die Verteilungen in Abbildung 3.21. Zum Ende dieses Kapitels geben wir noch die Verteilungen der Komponenten an.

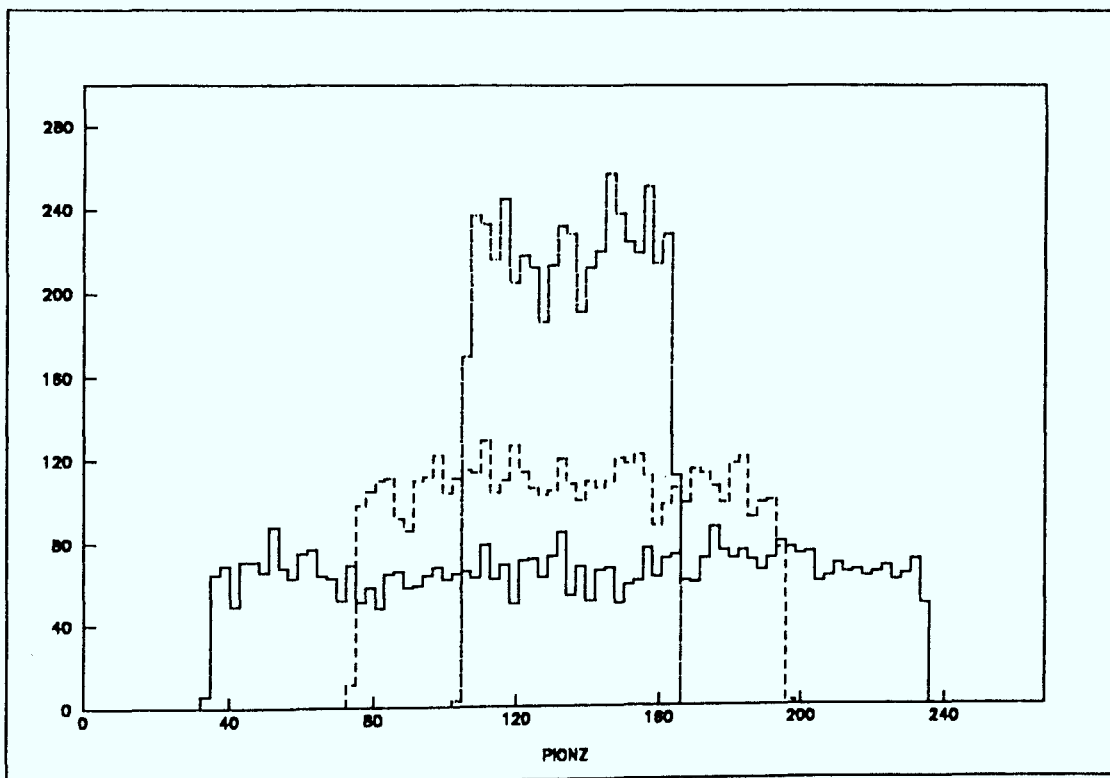


Abbildung 3.20: Verteilungen der Z-Komponente des Impulses für die Impulsbetragsintervalle (30 ± 1) MeV, (60 ± 1) MeV, (100 ± 1) MeV.

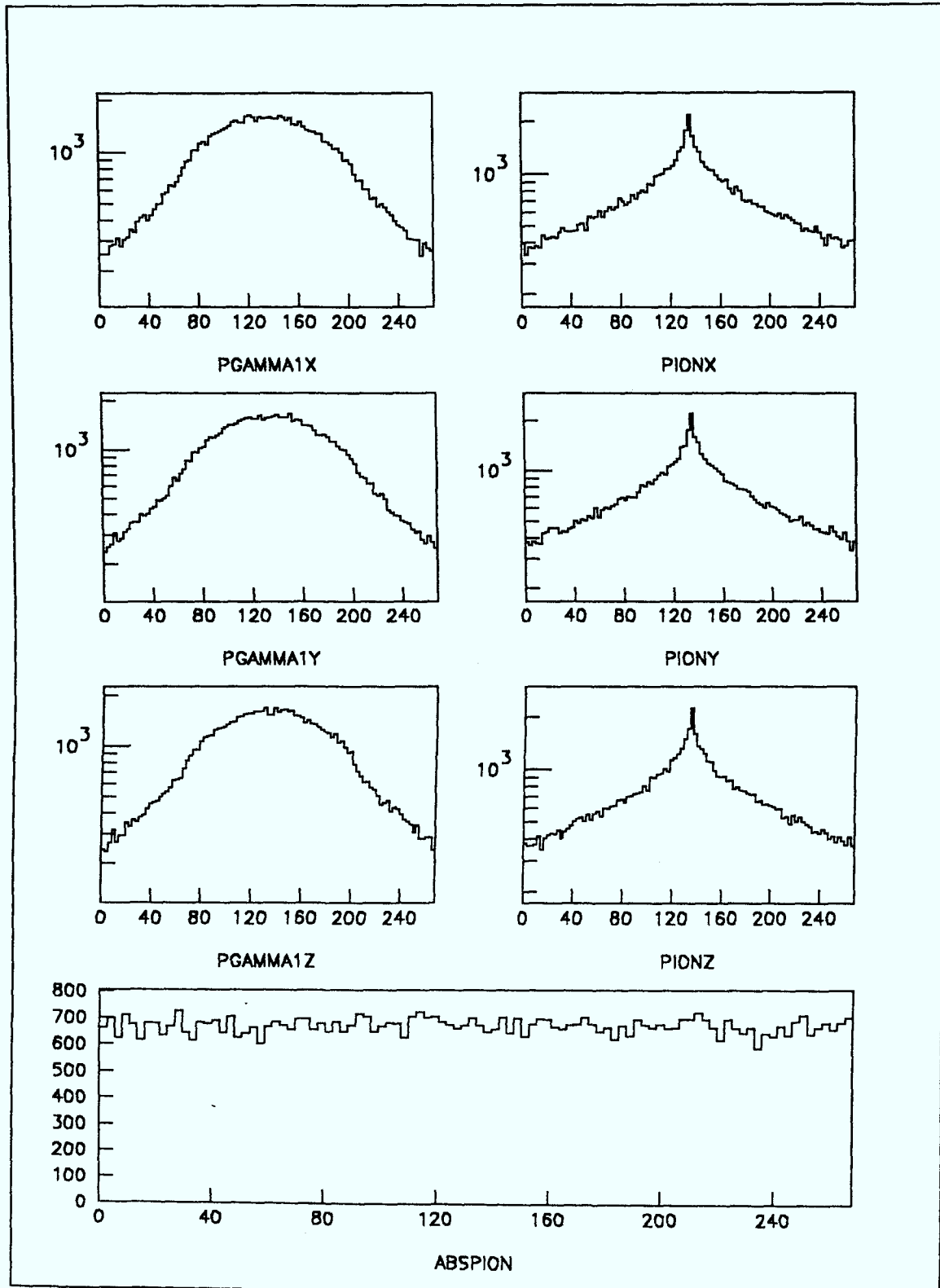


Abbildung 3.21: Verteilung der Pionen-Impulskomponenten und des Betrages. In der linken Spalte sind die Photonen-Impulse aufgetragen. (liniare Energieverteilung)

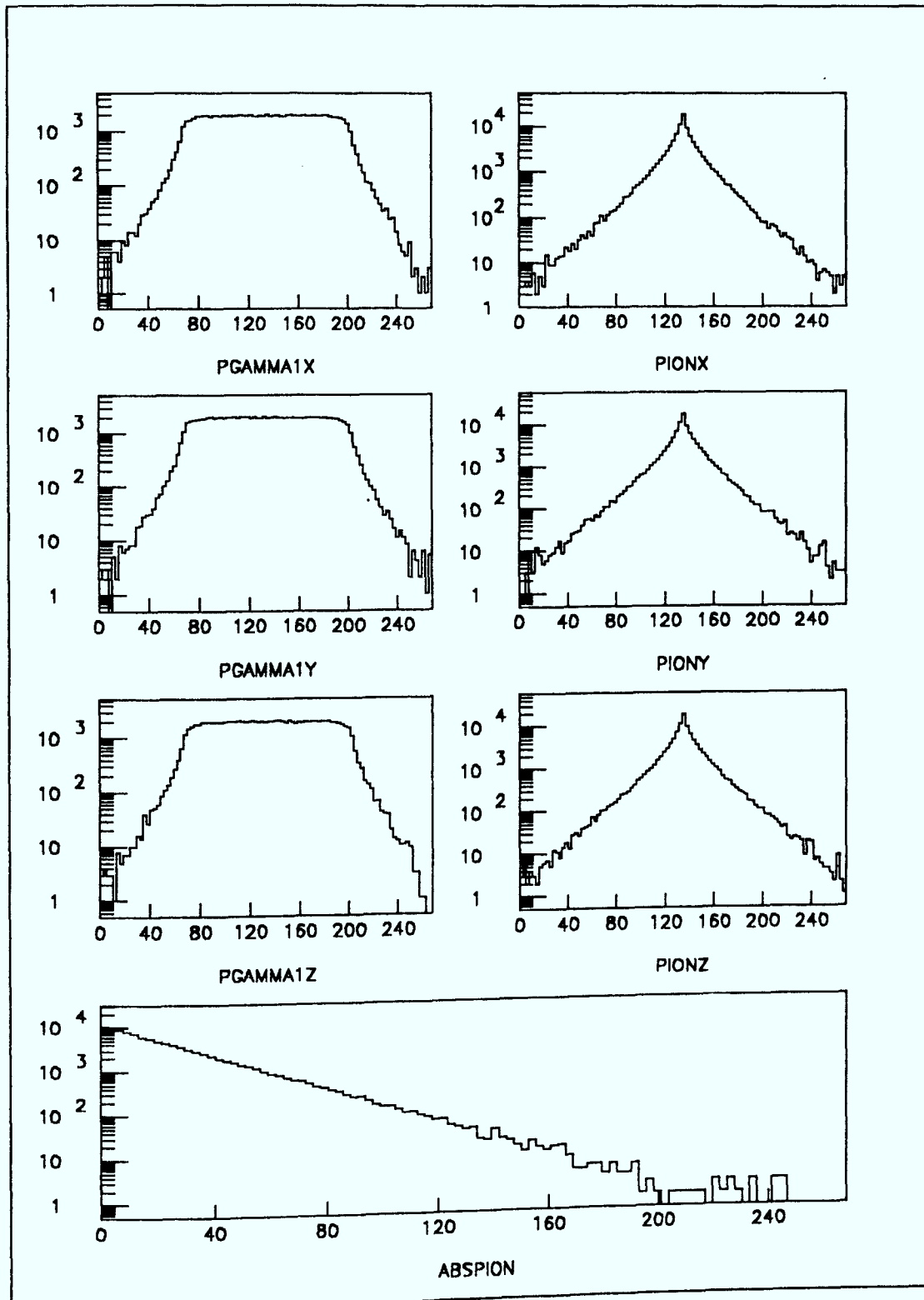


Abbildung 3.22: Verteilung der Pionen-Impulscomponenten und des Betrages. In der linken Spalte sind die Photonen-Impulse aufgetragen. (**exponentielle Energieverteilung**)

Kapitel 4

Experimentelles

Die folgende Abbildung zeigt das Spektrometer mit zwei von zehn Teleskopen bestückt. Das Strahlrohr trifft von rechts auf die zylinderförmige Targetkammer. Auf der linken Seite befindet sich der kegelförmige Kammerausgang, der die Bestückung mit weiteren Detektoren in Vorwärtsrichtung ermöglicht. Beim vorderen Teleskop ist der Konverter zu Testzwecken aus der Symmetrieachse nach links herausgeschwenkt worden. Der Photomultiplier des Konverters ist von unten mit einem Lichtleiter angekoppelt worden. Die Photomultiplier der Absorber werden zusammen mit dem jeweiligen Lichtleiter mit Hilfe von Stahlfolien angepreßt. Diese Konstruktion ermöglicht, obwohl lediglich Silikonkautschuk zum Kleben verwendet wurde, eine horizontale Positionierung. Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Energieeichung der Module. Eine zwar zeitaufwendige, dafür aber recht einfache Methode besteht darin, die Myonen der Höhenstrahlung zu verwenden.

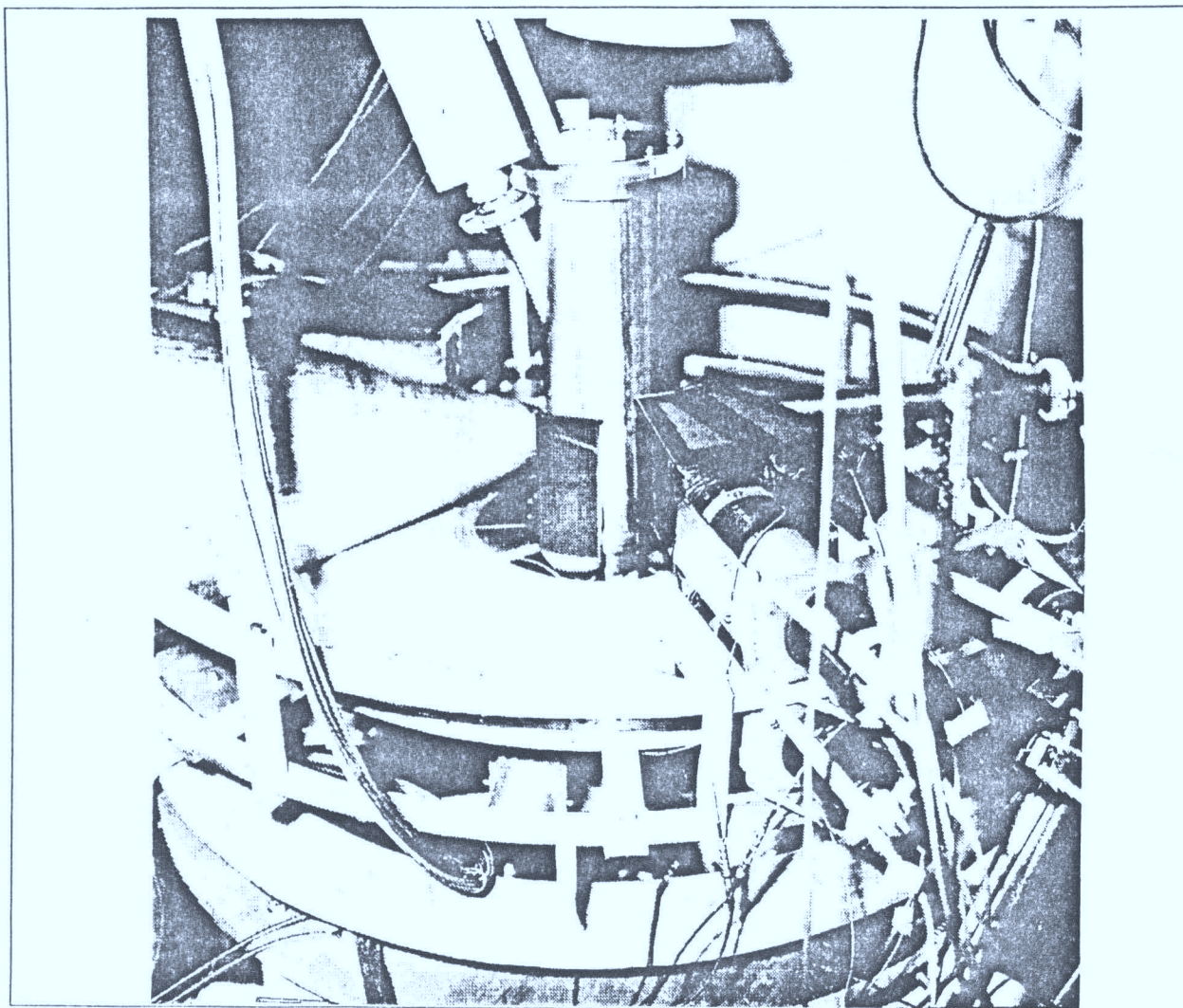


Abbildung 4.1: Zwei Teleskope des π^0 -Spekrometers am Strahlplatz

4.1 Kalibration der SF5 Module mit Myonen

Die bei der Wechselwirkung der Primärstrahlung mit den Atomkernen der Atmosphäre entstehenden Myonen des $\pi - \mu - e$ -Zerfalls bilden einen großen Teil der Intensität der Gesamtstrahlung (s. Abb. 4.1), insbesondere in der Nähe des Erdbodens und innerhalb der Erde. Sehr grob geschätzt [26] sind 75 Prozent der auf Seehöhe ankommenden Teilchen Myonen. Sie haben eine mittlere Energie von 2 GeV und ein differentielles Spektrum das mit E^{-2} langsam bis $E^{-3.6}$ steiler werdend abfällt und bis zu Energien oberhalb von einigen TeV reicht. Für die Eichmessung ist der Vorgang der Energieabgabe der Myonen im Bleiglas maßgeblich. Schwere geladene Teilchen verlieren über die Coulombwechselwirkung Energie durch Stöße mit gebundenen Elektronen. Die Elektronen können dabei auf höhere, diskrete Niveaus angehoben werden (Anregung) oder sie können aus dem Atom herausgestoßen werden (Ionisation). Die Ionisation überwiegt bei Teilchen mit großer Energie verglichen mit der atomaren Bindungsenergie. Die Energieverlustrate durch Stöße mit Elektronen wurde klassisch von Bohr und quantenmechanisch von Bethe und Bloch berechnet [27] [28]. Das Ergebnis, üblicherweise als Bethe-Bloch-Gleichung bezeichnet, lautet:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi n z^2 e^4}{m_e v^2} \left(\ln \frac{2m_e v^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 \right). \quad (4.1)$$

Hier ist $-dE$ der Energieverlust in der Dicke dx , n die Anzahl der Elektronen pro cm^3 in der bremsenden Substanz; m_e ist die Elektronenmasse; ze ist Ladung; $\beta = v/c$ und I ist das mittlere Anregungspotential der Atome in der bremsenden Substanz.

Bei einer bestimmten Energie gibt es eine Ionisationsminimum oberhalb dessen dE/dx nur langsam ansteigt. Der Energieverlust ist am Minimum und wenigstens zwei Größenordnungen darüber für alle Stoffe der gleiche und zwar ist der spezifische Energieverlust von der Größenordnung [29]

$$-\frac{dE}{d(\rho x)}(\text{beim Minimum}) \approx 2 \text{ MeV/gcm}^2. \quad (4.2)$$

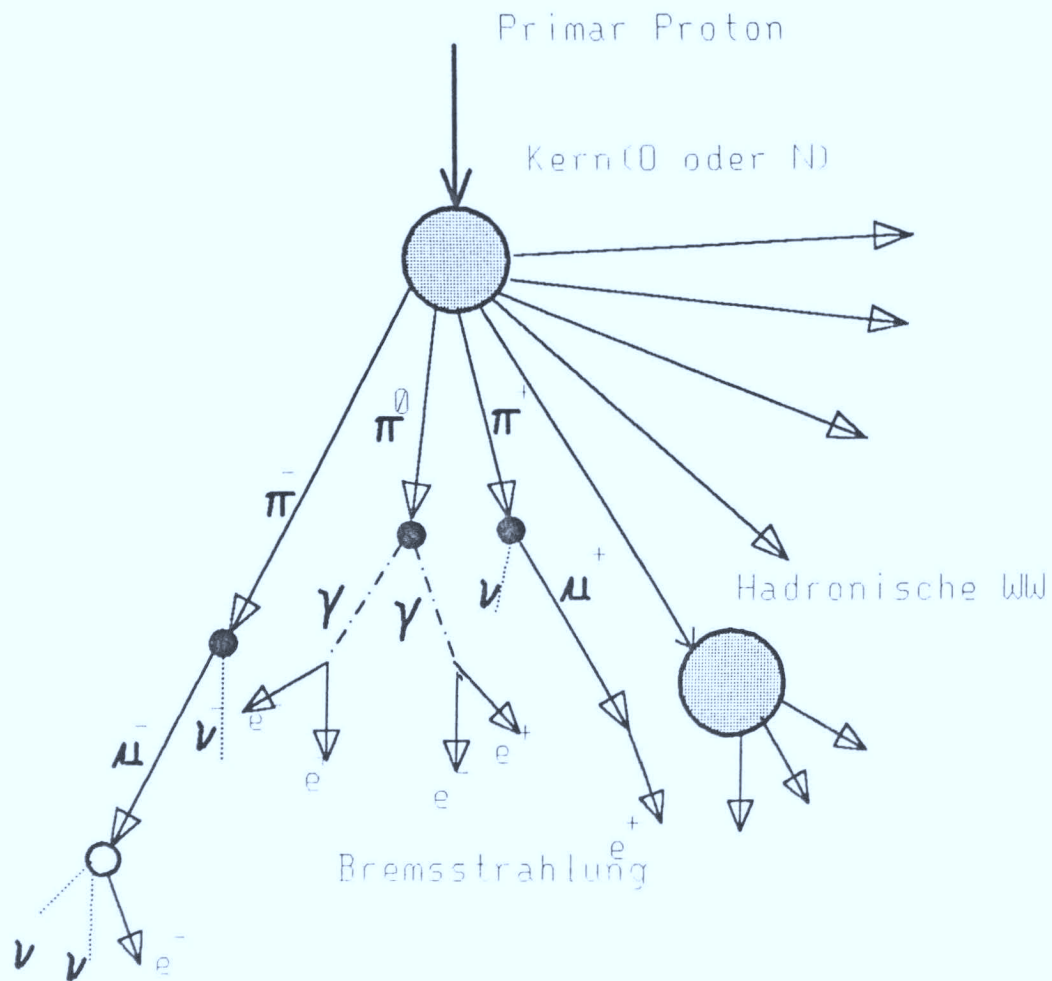


Abbildung 4.2: Ein einfallendes hochenergetisches Proton tritt in die Atmosphäre ein und erzeugt einen Kaskadenschauer.

Die Dichte des verwendeten Bleiglasses SF5 beträgt 47.67 mg/cm^3 . Das bedeutet, daß nach zehn Zentimeter im Bleiglas zurückgelegten Weges, das Myon etwa einen Energiebetrag von 95 MeV abgegeben hat. Dieser Wert ist nur ein grober Anhaltspunkt. Zur genaueren Kalibration wurde eine Monte Carlo Simulation für GEANT programmiert.

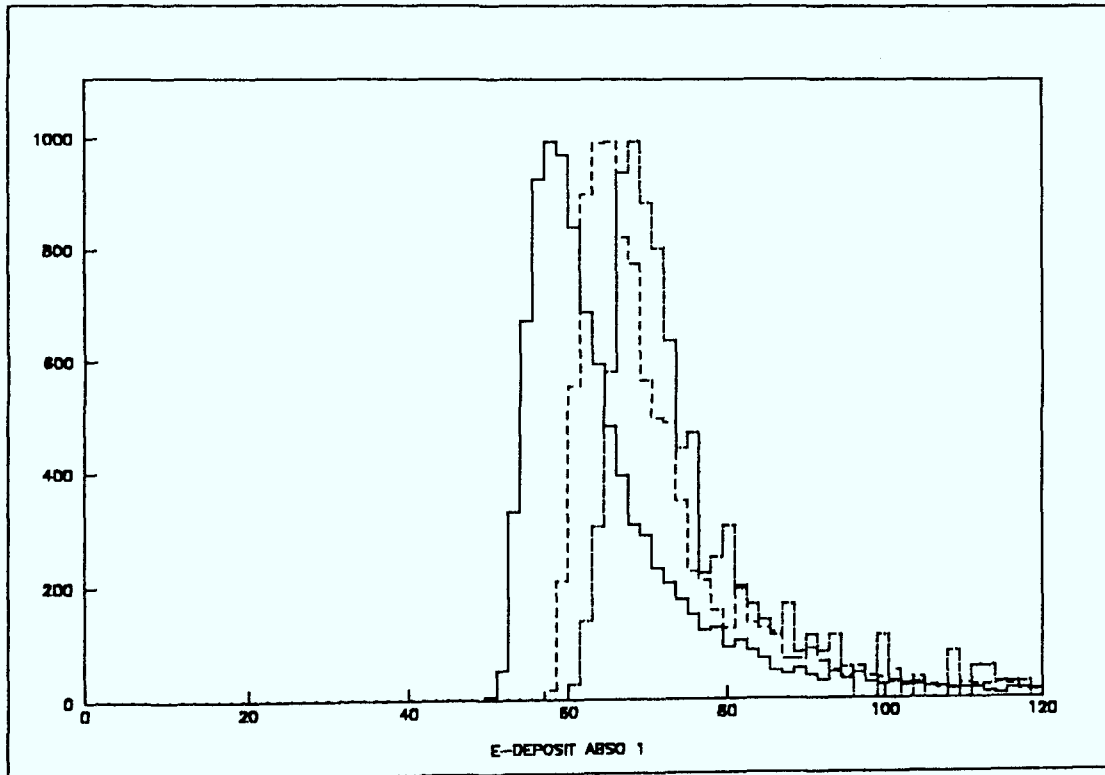


Abbildung 4.3: Energieverlust in 10 cm SF5 von kosmischen Myonen der Energie 1 GeV (linke Kurve), 10 GeV (getrichelt), 100 GeV (rechte Kurve).(Monte Carlo)

Die Histogramme 4.3 zeigen, daß der Energieverlust bei den betrachteten Energien nur schwach Energieabhängig ist.

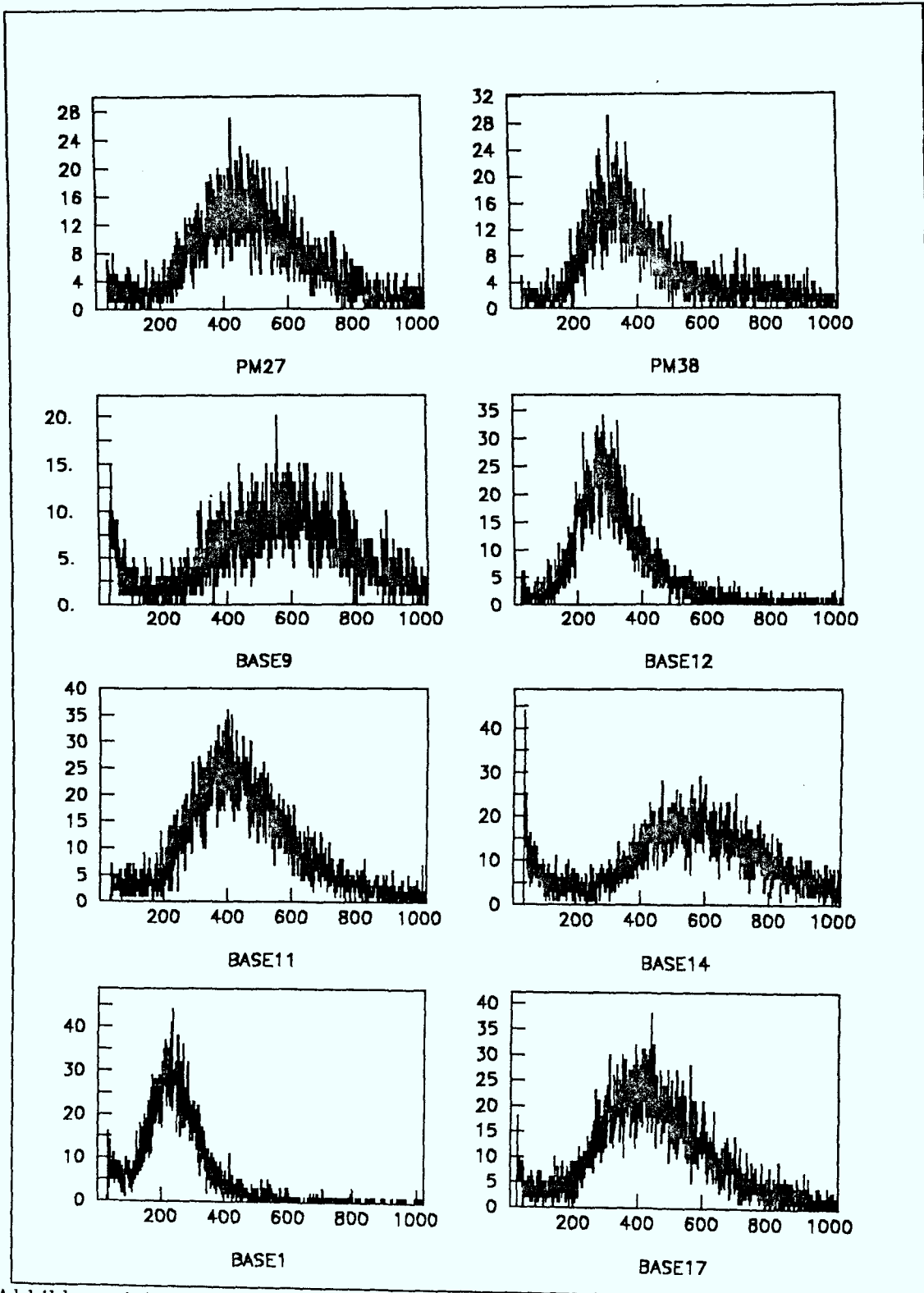


Abbildung 4.4: Meßergebnisse des Energieverlust in 10 cm SF5 von kosmischen Myonen.

Für die erwähnten 2 GeV Myonen ergibt sich für die Energieabgabe an das 10 cm dicke SF5-Bleiglasmodul etwa ein Wert von 58 MeV. Dies ist genau der Zahlenwert, der dem Maximum der gemessenen Energieabgabeverteilungen zuzuordnen ist. Die Lage und Form der gemessenen Höhenstrahlspektren hängt von den individuellen Kombinationen bestehend aus Bleiglas Modul, Lichtleiter, Photomultiplier und den optischen Kontakten ab. Die Abbildung 4.5 stellt den Versuchsaufbau zur Höhenstrahlungsmessung dar.

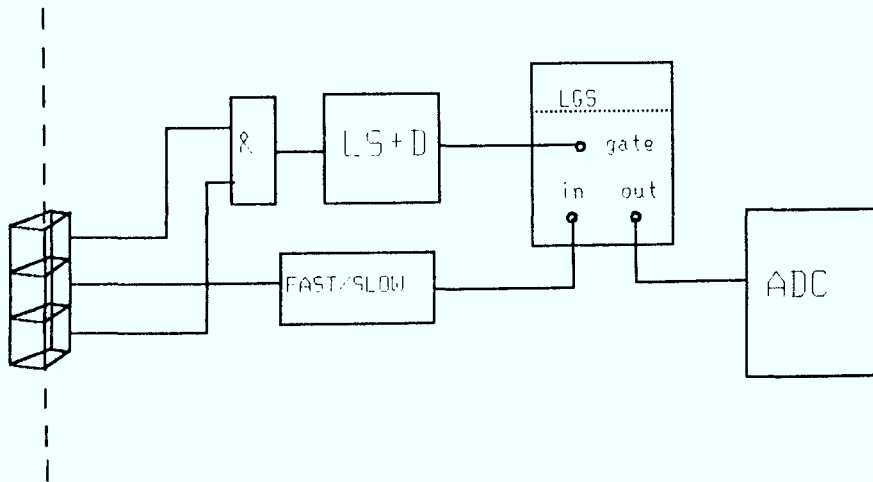


Abbildung 4.5: Meßelektronik zum Nachweis der kosmischen Myonen. LS=linear shaper, D=Delay, LGS=Linear Gate Stretcher

Der Energieverlust eines Myons, das drei aufeinander gestapelte Bleiglasmodule durchdringt, wird mit Hilfe einer Koinzidentschaltung gemessen. Das verstärkte Ausgangssignal des zum mittleren Modul gehörigen Photomultipliers wird nur dann aufgezeichnet, wenn die beiden äußeren Module koinzidente Signale geliefert haben. Da ein den Absorberstapel durchdringendes Myon, Winkel von über 45 Grad haben kann, sind die gemessenen Verteilungen ziemlich breit. Der Grund dafür ist eine cosinus-förmige Winkelabhängigkeit in der Energieverteilung der Myonen¹. Es wurden acht Module mit den dazugehörigen Basen geeicht. An die gemessenen Spektren wurden Gauss-Kurven angepaßt. Die Ergebnisse sind im Anhang tabelliert.

¹eine winkeleinschränkende Blende würde die Zählrate drastisch herabsetzen und ist wegen der enormen Durchdringungskraft der Myonen ein technisch nicht einfach zu realisierendes Unterfangen.

4.2 Der LED Pulsgeber als Monitor

Bei einem multiparametrischen System, wie dem π^0 -Spektrometer, ist es notwendig, einen Kontrollmechanismus zur Verfügung zu haben, der es gestattet, die Funktionstüchtigkeit aller Komponenten während des Experimentes ständig zu überprüfen. Mit dem Lumineszenzdiodenlichtpulsgeber wurde ein Modul entwickelt, daß die kurzen Signale eines Szintillatorlichtblitzes oder eines elektromagnetischen Schauers realistisch simuliert [15]. Das Ausgangssignal des Plusgenerators wird auf eine Lumineszenzdiode, die zwischen die beiden Enden des aufgetrennten Mittelleiters eines Koaxialkabels gelötet ist, gegeben.

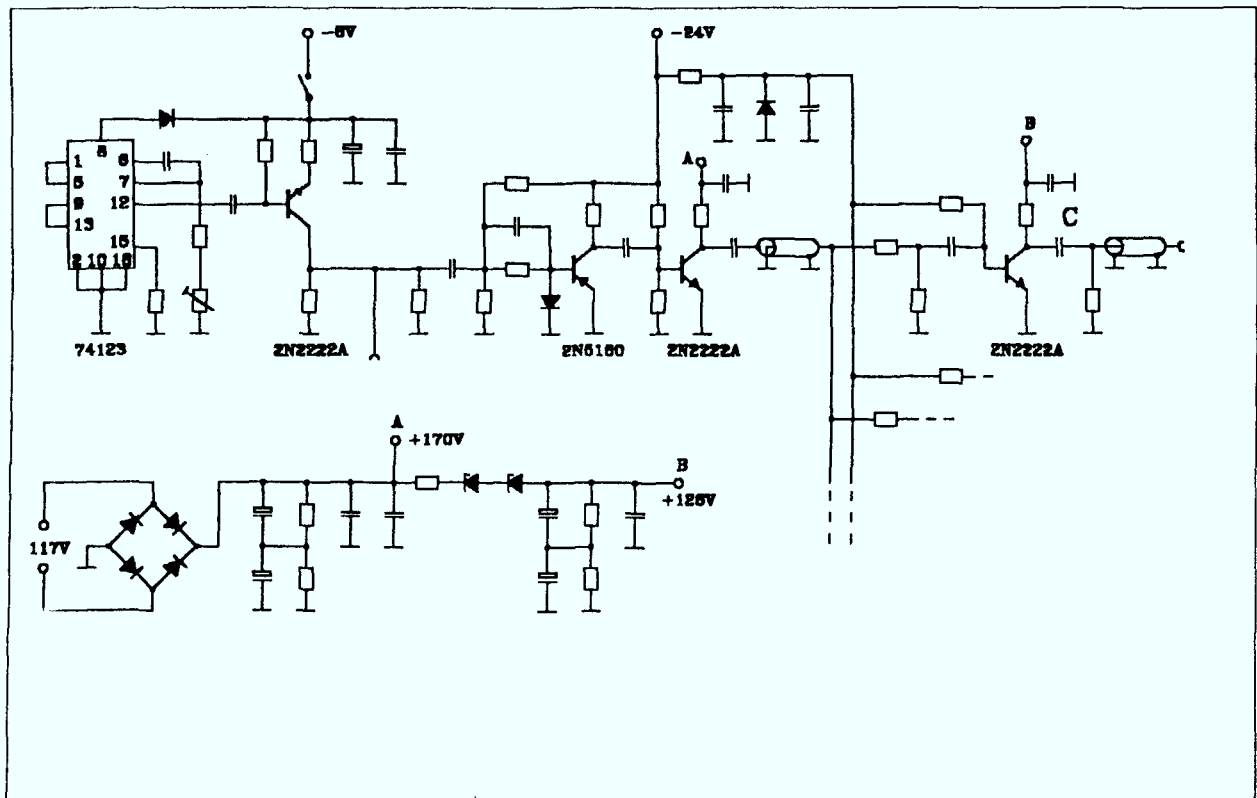


Abbildung 4.6: Schaltplan der LED-Pulsgeberelektronik

Die zeitliche Länge eines Lichtblitzes hängt von der Länge des Kabelendes ab. Das am offenen Ende invertiert reflektierte Signal löscht das reingelaufene Signal wieder. Diese Schaltung stammt von K. Kilian[15]).

4.2.1 Funktionsweise der Pulsgeberelektronik

Der Schaltplan der Elektronik des LED-Pulsgebers in der Abbildung 4.6 dargestellt². Ein Rechtecksignalgenerator (74123) steuert eine differenzierende Transistorstufe. Die nächste Transistorstufe arbeitet im Avalanchemodus und füttert ihrerseits fünf Transistoren, die auch im Avalanchemodus arbeiten. Jeder dieser fünf Transistoren entlädt eine 33pF Kapazität bei etwa 160 Volt in das 50 Ω Koaxialkabel. Auf diese Art erhält man ein sehr kurzes Signal mit einer Höhe von etwa 60 Volt. Auf einer Platine werden fünf schnelle Pulse gleichzeitig erzeugt. Eine solche Platine wurde in ein NIM-Einschubgehäuse eingebaut. Es sind fünf Einschübe gebaut worden und sechs weitere geplant, so daß später alle fünfzig SF5-Module versorgt werden können. Die Transistoren der letzten Stufe mußten einzeln während des Betriebes getestet werden. Nur jeder zehnte Transistor 2N222A ließ sich verwenden.

Die Abbildung 4.7 zeigt das typische Ausgangssignal eines Photomultipliers der mit dem sehr kurzen Lichtpuls einer am Pulser betriebenen LED beleuchtet wurde. Der Photomultiplier ist vom Typ EMI 9821b. Die Nachschwinger resultieren aus der Fehlanpassung der LED-Halterung an das 50 Ω Kabel.

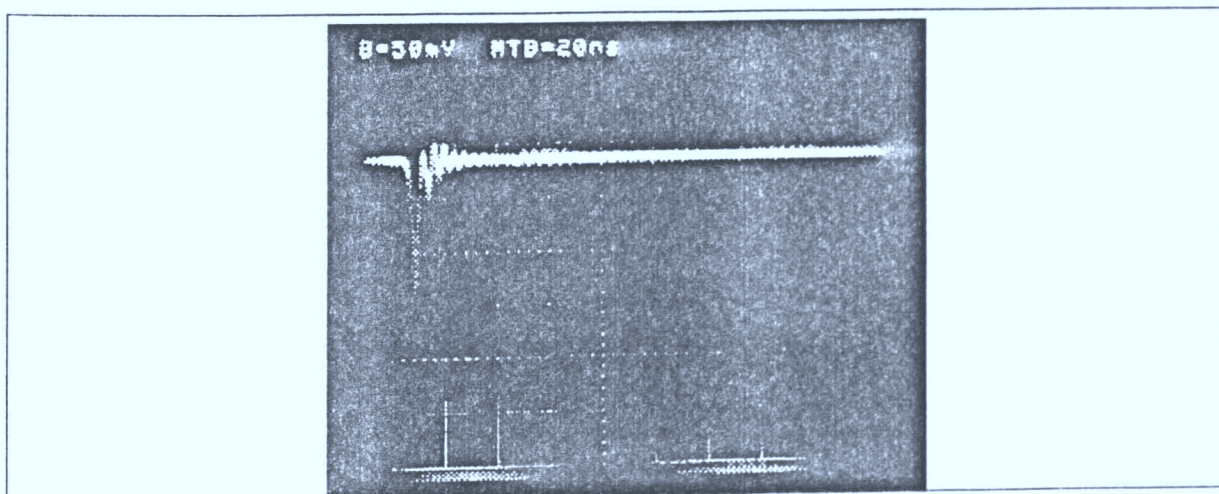


Abbildung 4.7: Signal am Photomultiplerausgang bei 2 kVolt Betriebsspannung. Als Signalquelle wurde ein LED in den Lichtleiter eingekoppelt. Die LED wurde mit einem speziellen Pulsgeber (siehe Text) gespeist (PM EMI 9821B).

Die Spezialhalterung 4.8 für die LED mußte konstruiert werden um ein gute Hochfrequenzabschirmung zu gewährleisten und die Möglichkeit zu bieten, die LED stabil in den Lichtleiter einkleben zu können. Dazu wurde Sekundenkleber verwendet. Die Nut ist so

²Die Abbildung wurde von T. Seifick zur Verfügung gestellt

tief in das Messingklötzchen gefräst, daß die Linse der in die Bohrung gesteckten LED aus der Fassung hervorsteht. Genau dieser Teil wurde in eine kegelförmige Aussparung im Lichtleiter zwischen Bleiglas und Photomultiplier eingeklebt.

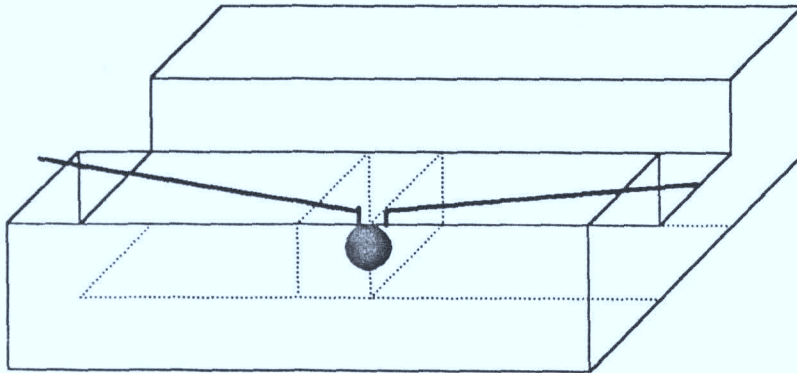


Abbildung 4.8: Halterung der Luminiszenzdiode für den Hochfrequenzbetrieb.

4.2.2 Stabilitätsmessung des Pulsgebers

Wegen der beschriebenen Eigenschaften des Lichtpulsers eignet sich dieser unter der Voraussetzung, daß die produzierte Lichtmenge reproduzierbare Ergebnisse liefert, als Gerät zur Überwachung der Funktionstüchtigkeit der Photomultiplier. Da der Teilchenstrahl des Jülicher Zyklotrons nicht kontinuierlich sondern in Teilchenpakete aufgeteilt ist, könnte man diese Überwachung während des laufenden Experiments in den Strahlpausen durchführen. Bei geschickter Programmierung des Datenaufnahmesystems könnte dieses Fehler im Spektrometer automatisch registrieren und melden. Voraussetzung dafür ist unter anderem, daß der Lichtpulsler stabil für die Dauer eines Experimentes die selben Signale liefert. Bei hinreichender Stabilität kann man die Pulserlinie dann sogar als Eichlinie verwenden, wenn man vorher den Lichtpulsler geeicht hat. Ein einfach zu handhabendes Vergleichsnormale stellt der Americumpulsler der Firm Harshaw³ dar. Dieser besteht aus einem mit Americium 241 versehenen Pulver auf das ein winziger Natriumjodidkristall als Szintillator aufgebracht ist. Die α -Teilchen des Americium erzeugen im Natrium- Jodid Kristall Szintillatorblitze. Die Anzahl der emittierten Photonen wird vom Hersteller durch den Umfang der Americium-Implantation festgelegt. Dieser Americium Pulsler ist dazu benutzt worden, festzustellen, wie stabil der LED-Pulsler arbeitet. Dazu wurden beide Pulsler gleichzeitig an einem Modul mit Photomultiplier angebracht.

³Harshaw/Filtrol, Crystal & Electronic Products, 6801 Cochren Road, Solon, Ohio 44139, 1(216)2487400

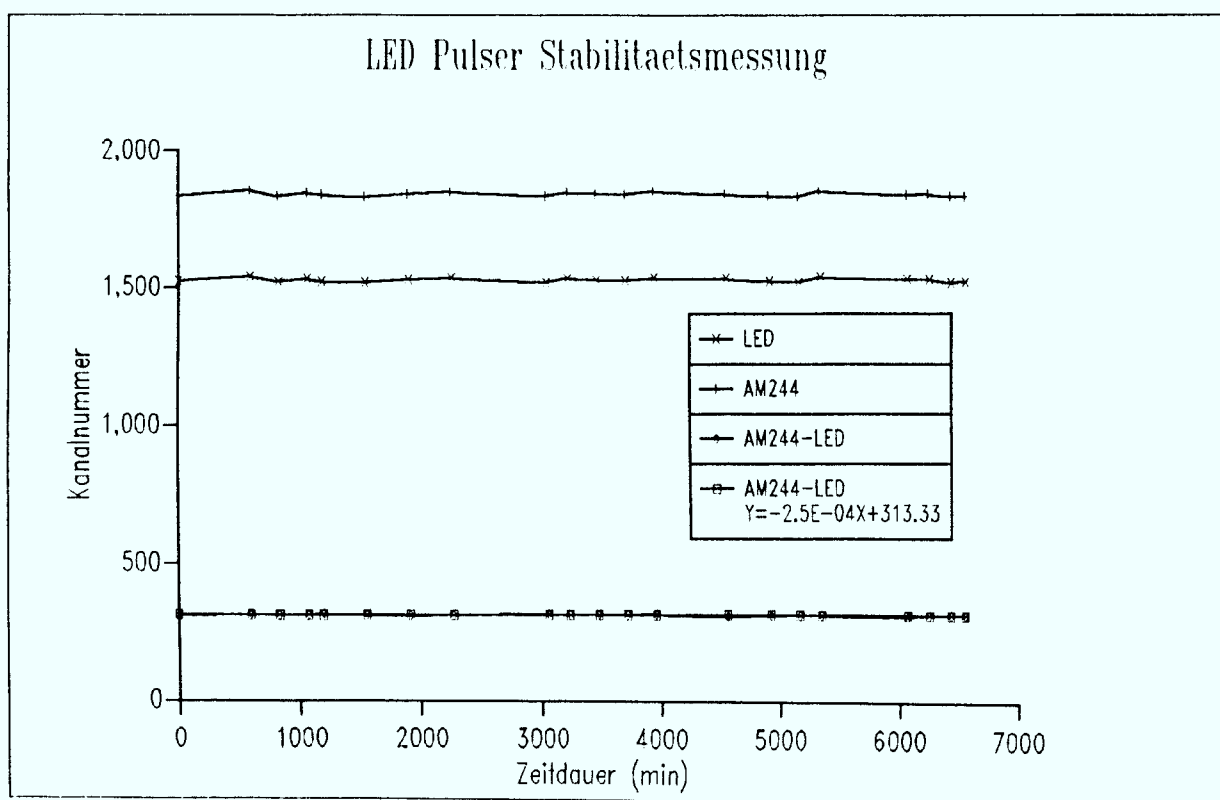


Abbildung 4.9: Vergleichsmessung zwischen LED-Pulsgeber und AM241-NaJ Pulsers

4.3 Vergleich diverser Bleiglasummantelungen

Messungen mit BGO ($Bi_3Ge_4O_{12}$) haben ergeben, daß Ungleichmäßigkeiten im Kristall durch Verwendung von Teflon als Verpackungsmaterial ausgeglichen werden können [30]. P. M. Tuts gibt in seinem Artikel [30] eine Dicke von 2 Millimetern an. Das hat sich in unserem Fall als unpraktikabel erwiesen, da das Material nicht hinreichend gut an der Bleiglasoberfläche haften bleibt. Die Tatsache, daß einige Bleiglasmodule mit Flußsäure aufgeraute Oberflächen aufweisen, kommt noch erschwerend hinzu. Deshalb hat man sich entschlossen wesentlich dünnere Teflonschichten mehrfach aufeinander zu wickeln. Wir können hier nur das Ergebnis der ersten Tests angeben, bei denen lediglich zwei Schichten $10\ \mu\text{m}$ dicken Teflons verwendet wurden. Zusätzlich wurde das Teflon noch mit Aluminiumfolie umwickelt. Als Quelle wurde das Licht des Luminiszenzdiodepulsgebers verwendet. Bei der Messung mußte sorgfältigst auf die korrekte Einkopplung des Lichtes geachtet werden. Zu diesem Zweck wurde die LED in ein Plexiglasklötzchen eingeklebt, in das zuvor eine kegelförmige Bohrung gebracht wurde. Die optische Kopplung mit dem SF5 wurde dann mit Silicon Öl erreicht.

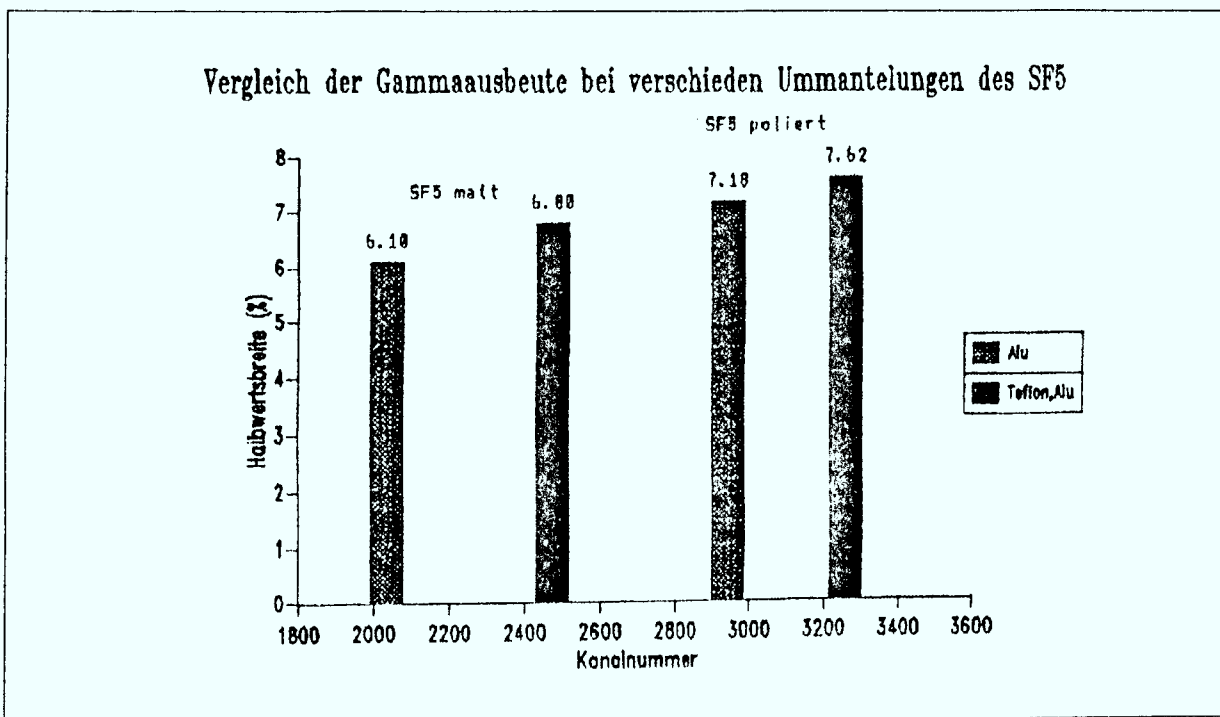


Abbildung 4.10: Messung der Lichtausbeute bei verschiedenen Modulverpackungen. Auf der Ordinate ist die Lichtausbeute und auf der Abszisse die relative Halbwertsbreite (FWHM) aufgetragen.

Die hier beschriebenen Messungen wurden mit einer EMI 9821B Photomultiplerröhre (2.1 ns), gemacht die wie im geplanten Experiment über einen Plexiglaslichtleiter mit einem der Bleiglasmodule optisch verbunden war. Die Abbildung 4.10 zeigt das Ergebnis dieser Messung. Da es Module mit mattierter und solche mit polierter Oberfläche gibt, mußte dies in der Messung berücksichtigt werden. Man sieht, daß die matte Oberfläche ungünstiger ist als die polierte und die Teflonummantelung in beiden Fällen eine Verbesserung in der Lichtausbeute bedeutet, die relative Halbwertsbreite FWHM/MAXIMUM aber insgesamt größer wird.

Kapitel 5

Anhang

5.1 Tabelle der Verstärkereinstellungen bei der Höhenstrahlungsmessung

| | BASE | PM | FINE GAIN | COARSE GAIN | FILE | KANAL | ADC | ANGLE |
|----|------|-----|-----------|-------------|--------|-------|-----|-------|
| 16 | 27 | 1.5 | | 100 | PM27 | 2 | 2 | 55 |
| 15 | 39 | 0.5 | | 100 | PM38 | 3 | 3 | 70 |
| 9 | 12 | 1.5 | | 100 | BASE9 | 4 | 4 | 25 |
| 12 | 20 | 1.5 | | 100 | BASE12 | 5 | 5 | 40 |
| 11 | 22 | 1.5 | | 100 | BASE11 | 7 | 8 | 135 |
| 14 | 35 | 1.5 | | 100 | BASE14 | 8 | 9 | 90 |
| 1 | 13 | 1.5 | | 100 | BASE1 | 9 | 10 | 105 |
| 17 | 26 | 1.5 | | 100 | BASE17 | 10 | 11 | 120 |

5.2 Tabelle zur Gaussskurvenanpassung der Myonenspektren

Anpassungsparameter der Gaussskurvenanpassung an die Höhenstrahlspektren

| | | | |
|---------------------|-------|---------------------|-------|
| BASE11 | | PM27 | |
| AVARAGE | = 417 | AVARAGE | = 460 |
| STANDART DEVIVATION | = 132 | STANDART DEVIVATION | = 143 |
| CHI SQUARE | = 459 | CHI SQUARE | = 455 |
| <hr/> | | <hr/> | |
| BGO | | PM29 | |
| AVARAGE | = 435 | AVARAGE | = 146 |
| STANDART DEVIVATION | = 102 | STANDART DEVIVATION | = 45 |
| CHI SQUARE | = 749 | CHI SQUARE | = 257 |
| <hr/> | | <hr/> | |
| BASE17 | | PM38 | |
| AVARAGE | = 420 | AVARAGE | = 342 |
| STANDART DEVIVATION | = 150 | STANDART DEVIVATION | = 96 |
| CHI SQUARE | = 430 | CHI SQUARE | = 459 |
| <hr/> | | <hr/> | |
| BASE12 | | BASE14 | |
| AVARAGE | = 292 | AVARAGE | = 558 |
| STANDART DEVIVATION | = 87 | STANDART DEVIVATION | = 193 |
| CHI SQUARE | = 463 | CHI SQUARE | = 433 |
| <hr/> | | <hr/> | |
| BASE1 | | | |
| AVARAGE | = 233 | | |
| STANDART DEVIVATION | = 77 | | |
| CHI SQUARE | = 575 | | |
| <hr/> | | <hr/> | |
| BASE9 | | | |
| AVARAGE | = 583 | | |
| STANDART DEVIVATION | = 187 | | |
| CHI SQUARE | = 377 | | |

5.3 Fortran Quelltext des Eventgenerators

```

subroutine pinull

common // h(5000)
common /KINE/PG1(3),PG2(3),ppi(3)
real*8 pgamma1(3),pgamma2(3),ppion(3)
real*8 egamma1,egamma2,epion
real*8 mpion,pcms,pz,B,G phi,rho,psi
data x,y,z /1,2,3/
pi=acos(-1.)
mpion=134.96
nix=0
pcms=mpion/2.
ppion(x)=0.
ppion(y)=0.
c pkine(4)=pion-energy
c pkine(5)=pion-impuls-vector-length
c ----- fold exponetial kinetic energy distribution —
c
c
c  $W(T_\pi) = A \times e^{-T/T_0}$ 
c
c
c T0=23MeV ; A=1/T0 aus normierungsgr.
c
c use uniform probability distribution here to deteremine geo.-eff.
c TPI0=400.*rndm(nix)
c TPI0=-23.*LOG(1.-rndm(nix))

ppion(z)=SQRT(TPI0*TPI0+2.*.13496*TPI0)
epion=sqrt(ppion(z)**2+mpion**2)
B=ppion(z)/epion
G=1/sqrt(1-B**2)
c ----- ecms:=mpion/2 !
c ----- pcms=ecms

c ----- wuerfeln

```

```

phi=2*pi*rndm(nix)
rho=acos(1-2*rndm(nix))

```

in CMS-system

```

pz=pcms
pgamma1(x)=0
pgamma1(y)=0
call rot (pgamma1(x),pgamma1(y),pz,phi,rho)
pgamma2(x)= -pgamma1(x)
pgamma2(y)= -pgamma1(y)
pgamma1(z)= pz

```

—— LT

```

pgamma1(z)= G*(B*pcms+pz)
egamma1 = G*(pcms+B*pz)
pgamma2(z)= G*(B*pcms-pz)
egamma = G*(pcms-B*pz)

```

Koordinatentransformation

```

phi=2*pi*rndm(nix)
rho=acos(1-2*rndm(nix))
psi=2*pi*rndm(nix)
call rota(pgamma1(x),pgamma1(y),pgamma1(z),phi,rho,psi)
call rota(pgamma2(x),pgamma2(y),pgamma2(z),phi,rho,psi)
call rota(ppion(x),ppion(y),ppion(z),phi,rho,psi)
call rot(ppion(x),ppion(y),ppion(z),phi,rho)

```

Histogramm

```

call HFILL(1,pgamma1(x)+mpion,1.)
call HFILL(2,pgamma1(y)+mpion,1.)
call HFILL(3,pgamma1(z)+mpion,1.)
call HFILL(4,ppion(x)+mpion,1.)
call HFILL(5,ppion(y)+mpion,1.)
call HFILL(6,ppion(z)+mpion,1.)
t=sqrt(ppion(z)**2+ppion(y)**2+ppion(x)**2)
call HFILL(7,t,1.)
do 1 i=1,3
  ppi(I)=ppion(I)
  pgl(I)=pgamma1(I)
1  pg2(I)=pgamma2(I)

```

end

SUBROUTINE ROT(X,Y,Z,PHI,RHO)

```

REAL*8 X,Y,Z,PHI,RHO,XX,YY,ZZ,SINPHI,COSPHI,SINRHO,COSRHO
SINPHI=SIN(PHI)
COSPHI=COS(PHI)
SINRHO=SIN(RHO)
COSRHO=COS(RHO)
XX= X*COSPHI*COSRHO-Y*SINPHI+Z*COSPHI*SINRHO
YY= X*SINPHI*COSRHO+Y*COSPHI+Z*SINPHI*SINRHO
ZZ=-X*SINRHO +Z*COSRHO
X=XX
Y=YY
Z=ZZ
END

```

SUBROUTINE UINIT

```

common // h(5000)
mpion=134.96
CALL OBEY('FILEDEF 20 DISK EFIZIENS HBOOK A')
CALL OBEY('FILEDEF 21 DISK EFIZIENS HPRINT A')
CALL OBEY('FILEDEF 44 DISK PIONEN EVENTS E')
call HBOOK1(1,'PGAMMA1X',100,0.,2*mpion)
call HBOOK1(2,'PGAMMA1Y',100,0.,2*mpion)
call HBOOK1(3,'PGAMMA1Z',100,0.,2*mpion)
call HBOOK1(4,'PIONX',100,0.,2*mpion)
call HBOOK1(5,'PIONY',100,0.,2*mpion)
call HBOOK1(6,'PIONZ',100,0.,2*mpion)
call HBOOK1(7,'ABSPION',100,0.,2*mpion)
CALL HBOOK2(8,'IMPULSVERTEILUNG',
+ 60,-73.,73.,60,-73.,73.)
CALL HBOOK2(9,'IMPULSVERTEILUNG',
+ 60,-73.,73.,60,-73.,73.)
end
SUBROUTINE UOUT
common // h(5000)
CALL HOUTPU(21)

```

```

do 2 l=1,9
2 call HSTORE(1,20)
  CALL HISTDO(21)
end

```

```

main

```

```

common // h(5000)
common /KINE/PG1(3),PG2(3),ppi(3)
call uinit
do 1 i=1,100000
call pinull
write(44,*) ppi(1)/1000.,ppi(2)/1000.,ppi(3)/1000.
if(i.eq.j*1000) then
j=j+1
write (*,*)i
endif
1 continue
call uout
end

```

5.4 Fortran Quelltext der GEANT Anwenderprogramme

| | |
|----------------------------------|----------|
| COMMON//H(16000) | PIL00020 |
| COMMON/GCBANK/q(50000) | PIL00030 |
| C. | PIL00040 |
| C. | PIL00050 |
| CALL GZEBRA(50000) | PIL00060 |
| CALL HBGN | PIL00070 |
| C | PIL00080 |
| C File declaration | PIL00090 |
| C | PIL00100 |
| CALL TVBGN(0) | PIL00110 |
| C | PIL00120 |
| C *** GEANT initialisation | PIL00130 |
| C | PIL00140 |
| CALL UGINIT | PIL00150 |
| C | PIL00160 |
| C | PIL00170 |

```

C ***          Start events processing                                PIL00180
C                                                         PIL00190
C          CALL GRUN                                               PIL00200
C                                                         PIL00210
C ***          End of RUN                                           PIL00220
C                                                         PIL00230
C          CALL UGLAST                                             PIL00240
C.                                                         PIL00250
C          STOP                                                    PIL00260
C          END                                                     PIL00270
C ISWIT 1 GRAPHICS DEBUG FLAG                                       PIL00280
C ISWIT 2 KINEMATICS DEBUG FLAG                                       PIL00290
C ISWIT 3 PRINT HITS DEBUG FLAG                                       PIL00300
C ISWIT 4 Print energy deposit                                       PIL00310
C ISWIT 5 SHOW THE LEADS USED FOR KINEMATICS                             PIL00320
C ISWIT 6 READ KINE DATA FROM FILE                                       PIL00330
C ISWIT 7 WRITE DETECTOR NUMBERS                                       PIL00340
C ISWIT 8 WRITE DETECTOR ANGLES                                       PIL00350
C          SUBROUTINE HBGH                                             PIL00360
C          COMMON//H(16000)                                             PIL00370
C          CALL HLIMIT(16000)                                           PIL00380
C          CALL HOUTPU(60)                                              PIL00390
C          CALL HBOOK1(1,'PI-ZERO RESTMASS $',80,.0,200.)             PIL00400
C          CALL HBOOK1(2,'PI-ZERO RESTMASS WITH EXACT ANGLES$',80,.0,200.) PIL00410
C          CALL HBOOK1(3,'INPUT ENERGY-TOTAL ENERGY DEPOSIT$',80,.0,200.) PIL00420
C          CALL HBOOK1(4,'TOTAL ENERGY DEPOSIT-E1-E2$',80,.0,100.)   PIL00430
C          CALL HBOOK1(7,'ANGLE DEVIATION $',200,.0,100.)            PIL00440
C          CALL HBOOK1(8,'ENERGY GAMMA 1/2 INPUT<BUT TIGGERED>$', 80,0.,400.)PIL00450
C          CALL HBOOK1(9,'ANGLE DEVIATION PGAMMA $',80,0.,40. )      PIL00460
C          CALL HBOOK2(10,'ANGLE DEVIATION PGAMMA$',90,0.,40.,180,0.,180.) PIL00470
C          CALL HBOOK1(11,'EGAMMA1 EGAMMA2 SUMME $',80,0.,400.)      PIL00480
C          CALL HBOOK1(12,'ANGLE DEVIATION POSTIONAL CALCN$',200,.0,100.) PIL00490
C          MPION=134.9642                                             PIL00500
C          CALL HBOOK1(13,'PGAMMA1X /MEV <INPUT NO TRIGGER>$',100,0.,2*MPION)PIL00510
C          CALL HBOOK1(14,'PGAMMA1Y /MEV <INPUT NO TRIGGER>$',100,0.,2*MPION)PIL00520
C          CALL HBOOK1(15,'PGAMMA1Z /MEV <INPUT NO TRIGGER>$',100,0.,2*MPION)PIL00530
C          CALL HBOOK1(16,'PIONX /MEV <INPUT NO TRIGGER>$',100,0.,2*MPION) PIL00540
C          CALL HBOOK1(17,'PIONY /MEV <INPUT NO TRIGGER>$',100,0.,2*MPION) PIL00550
C          CALL HBOOK1(18,'PIONZ /MEV <INPUT NO TRIGGER>$',100,0.,2*MPION) PIL00560
C          CALL HBOOK1(5,'ENERGY GAMMA1/MEV <SHOWER CALCULATED>$',80,.0,400.)PIL00570
C          CALL HBOOK1(6,'ENERGY GAMMA2/MEV <SHOWER CALCULATED>$',80,.0,400.)PIL00580
C          CALL HBOOK1(19,'ENERGY GAMMA 1/2 INPUT NO TRIGGER$', 80,0.,400. ) PIL00590
C          CALL HBOOK1(20,'ENERGY GAMMA 1/2<SHOWER CALCULATED>$', 80,0.,400.)PIL00600
C          CALL HBOOK1(21,'ENERGY GAMMA 1 INPUT NO TRIGGER$', 80,0.,400. ) PIL00610
C          CALL HBOOK1(22,'ENERGY GAMMA 2 INPUT NO TRIGGER$', 80,0.,400. ) PIL00620
C                                                         PIL00630
C          CALL HBOOK1(23,'ANGLE DEVIATION PGAMMA POSITIONAL$ ',80,0.,40. ) PIL00640

```

```

CALL HBOOK2(24,'ANGLE DEVIATION PGAMH POS$',90,0.,40.,180,0.,180.)PIL00650
CALL HBOOK1(25,'DEGAH/PERCENT$',100,0.,10.)PIL00660
CALL HBOOK1(26,'DELEC/PERCENT$',100,90.;100.)PIL00670
C-----PIL00680
CALL HBOOK1(27,'DENEU/PERCENT$',100,0.,10.)PIL00690
CALL HBOOK1(28,'DEHAD/PERCENT$',100,0.,10.)PIL00700
CALL HBOOK1(29,'DEHUG/PERCENT$',100,0.,10.)PIL00710
C-----PIL00720
CALL HBOOK1(30,'EBREM/PERCENT$',100,0.,100.)PIL00730
CALL HBOOK1(31,'PI0N IMPULS (MONTE CARLO)$',80,0.,400.)PIL00740
CALL HBOOK1(32,'PI0N IMPULS$',80,0.,0.08)PIL00750
CALL HBOOK2(33,'1+COS(THETA)$',80,0.,2.,80,0.,250.)PIL00760
CALL HBOOK1(34,'PI0N SCATTERING ANGLE$',90,0.,180.)PIL00770
CALL HBOOK1(35,'GAMMA DECAY ANGLE$',90,0.,180.)PIL00780
CALL HBOOK2(36,'GEOMETRIC EFFICIENCY$',40,0.,400.,40,0.,2.)PIL00790
CALL HBOOK1(37,'PI0N ENERGY (MONTE CARLO)$',80,0.,400.)PIL00800
CALL HBOOK1(38,'PI0N KINETIC ENERGY (every event)$',80,0.,80.)PIL00810
CALL HBOOK1(39,'PI-ZERO MASS(POS CALC) $',80,.0,200.)PIL00820
CALL HBOOK1(40,'ENERGY DEP CONVERTER $',80,.0,300.)PIL00830
CALL HBOOK1(41,'ENERGY DEP ABSORBER $',80,.0,300.)PIL00840
CALL OBEY('FILEDEF 15 DISK PIOTEST HBOOK A')PIL00850
CALL OBEY('FILEDEF 60 DISK PIOTEST HISTO A')PIL00860
CALL OBEY('FILEDEF 44 DISK PIONEN EVENTS *')PIL00870
ENDPIL00880
SUBROUTINE UGINITPIL00890
C. 7-----PIL00900
C. IPILO0910
C. I      i n i t i a l i s a t i o nPILO0920
C. IPILO0930
C. -----PIL00940
CPILO0950
INTEGER ASFI(13)PILO0960
C DESCRIPTION OF LOGICAL UNITS (SEQ GCUNIT)PILO0970
COMMON/ASYCUT/XCUTPILO0980
COMMON/ECUT/CUTHIN,CUTHAX,ICUTYPPILO0990
COMMON/GCUNIT/LIN,LOUT,NUMITS,LUNITS(5)PILO1000
      INTEGER LIN,LOUT,NUMITS,LUNITSPILO1010
COMMON/GCHAIL/CHMAILPILO1020
      CHARACTER*132 CHMAILPILO1030
CPILO1040
C VARIOUS SYSTEM AND USER LISTS MAINLY FOR STAERING VIA FFCARDSPILO1050
COMMON/GCLIST/NHSTA,NGET ,NSAVE,NSETS,NPRIN,NGEO,NVIEPILO1060
+ ,NSTAT,LHSTA(20),LGET (20),LSAVE(20),LSETS(20),PILO1070
+ LGEO(20),LVIEW(20),LPLOT(20),LSTAT(20)PILO1080
C initialize variablesPILO1090
CALL OBEY('FILEDEF 7 DISK PIFFREAD CARDS *')PILO1100
C CALL OBEY('FILEDEF 9 DISK DEBUG CARDS E')PILO1110

```

| | | |
|---|--|----------|
| | CALL GINIT | PILO1120 |
| C | define user data cards, read data cards, initialize data str | PILO1130 |
| | CALL FFKEY('XCUT',XCUT,1,'REAL') | PILO1140 |
| | CALL FFKEY('CTHI',CUTMIN,1,'REAL') | PILO1150 |
| | CALL FFKEY('CTHA',CUTMAX,1,'REAL') | PILO1160 |
| | CALL FFKEY('MODE',ICUTYP,1,'INTEGER') | PILO1170 |
| | CALL GFFGO | PILO1180 |
| C | INITIALIZE DYNAMIC CORE DIVISION | PILO1190 |
| | CALL GZINIT | PILO1200 |
| C | DEFINE PATICLE CHARACTERISTICS | PILO1210 |
| | CALL GPART | PILO1220 |
| C | INITIALIZE MATERIAL CONSTANTS | PILO1230 |
| | CALL GHATE | PILO1240 |
| C | USER CODE | PILO1250 |
| | CALL GUTMED | PILO1260 |
| | CALL GUGEO | PILO1270 |
| C | ALLOCATE DETECTOR VOLUMES TO SETS AND DEFINE BASIC STORAGE PARMS | PILO1280 |
| | CALL UDET | PILO1290 |
| C | BOOK STANDARD HISTOGRAMMS AS REQUIRED BY USER VIA FFCARD HSTA | PILO1300 |
| | CALL GBHSTA | PILO1310 |
| C | TO COMPUTE ENERGY LOSS AND CROSS SECTION TABELS AND STORE THEM | PILO1320 |
| C | IN THE DTA STRUCTURE JHATE | PILO1330 |
| | CALL GPHYSI | PILO1340 |
| C | INITIALIZE DRAWING PACKAGE | PILO1350 |
| | CALL GDINIT | PILO1360 |
| C | Draw one detector picture into viewbank 1 | PILO1370 |
| | DATA ASFI /13*1/ | PILO1380 |
| * | | PILO1390 |
| * | Now set whatever we want | PILO1400 |
| * | | PILO1410 |
| | CALL GSTXFP(17,2) | PILO1420 |
| | CALL GSASF (ASFI) | PILO1430 |
| C | | PILO1440 |
| | CALL GDOPEH(1) | PILO1450 |
| | CALL GSATT('CON1','COLO',7) | PILO1460 |
| | CALL GSATT('CON2','COLO',7) | PILO1470 |
| | CALL GSATT('SAB1','COLO',7) | PILO1480 |
| | CALL GSATT('SAB2','COLO',7) | PILO1490 |
| | CALL GSATT('SAB3','COLO',7) | PILO1500 |
| | CALL GSATT('SAB4','COLO',7) | PILO1510 |
| | CALL GDRAW ('HALL ',90.,90.,0.,10.,10.,.20,.20) | PILO1520 |
| | CALL GDCLOS | PILO1530 |
| C | Draw one detector picture into viewbank 2 | PILO1540 |
| | CALL GDOPEH(2) | PILO1550 |
| | CALL GDRAW ('HALL ',00.,00.,0.,10.,10.,.20,.20) | PILO1560 |
| | CALL GDCLOS | PILO1570 |
| C | Draw one detector picture into viewbank 3 | PILO1580 |

```

CALL GDOPEH(3)
CALL GDRAW ('HALL ',10.,90.,0.,10.,10.,.20,.20)
CALL GDCLOS
C
RETURN
END
C=====
C
SUBROUTINE UGLAST
C. 7-----
C. I
C. I user-supplied termination routine
C. I
C. -----
C
COMMON//H(16000)
COMMON/GCUNIT/LIN,LOUT,NUNITS,LUNITS(5)
      INTEGER LIN,LOUT,NUNITS,LUNITS
COMMON/GCHAIL/CHMAIL
      CHARACTER*132 CHMAIL
COMMON/GCLIST/NHSTA,NGET ,NSAVE,NSETS,NPRIN,NGEO,NVIE
+      ,NSTAT,LHSTA(20),LGET (20),LSAVE(20),LSETS(20),
+      LGEO(20),LVIEW(20),LPLOT(20),LSTAT(20)
C
      standard termination routine
C. -----
REAL*4 FARBM1(90,180),FARBM2(90,180)
CHARACTER*90 MAT1(180),MAT2(180)
CHARACTER*120 BLKHK
CHARACTER*110 TIKLN
CHARACTER*10 BLKLN
CHARACTER*10 TICKHK
CHARACTER*1 BLANK,TICK
C. -----define tickmark and fill blanks-----
BLANK=CHAR(0)
TICK=CHAR(127)
DO 50 I=1,10
BLKLN(I:I)=BLANK
50 TICKHK(I:I)=TICK
DO 51 I=1,110
51 BLKHK(I:I)=TICK
%----->
%----->
DO 52 I=1,90
IF((I/10-I/10.).NE.0)THEN
TICKLN(I:I)=BLANK
ELSE

```

```

PIL01590
PIL01600
PIL01610
PIL01620
PIL01630
PIL01640
PIL01650
PIL01660
PIL01670
PIL01680
PIL01690
PIL01700
PIL01710
PIL01720
PIL01730
PIL01740
PIL01750
PIL01760
PIL01770
PIL01780
PIL01790
PIL01800
PIL01810
PIL01820
PIL01830
PIL01840
PIL01850
PIL01860
PIL01870
PIL01880
PIL01890
PIL01900
PIL01910
PIL01920
PIL01930
PIL01940
PIL01950
PIL01960
PIL01970
PIL01980
PIL01990
PIL02000
PIL02010
PIL02020
PIL02030

```

```

        TICKLN(I:I)=TICK                                PIL02040
    ENDIF                                              PIL02050
52  CONTINUE                                          PIL02060
C.  -----PIL02070
    CALL HROTAT(1)                                    PIL02080
    CALL HROTAT(2)                                    PIL02090
    CALL HROTAT(3)                                    PIL02100
    CALL HROTAT(4)                                    PIL02110
    CALL HROTAT(9)                                    PIL02120
    CALL HISTDO                                       PIL02130
    DO 53 I=1,41                                     PIL02140
53  CALL HSTORE(I,15)                                PIL02150
C.  -----PIL02160
    CALL HUNPAK(10,FARBH1)                            PIL02170
    CALL HUNPAK(24,FARBH2)                            PIL02180
C.  -----PIL02190
    rmax1=0.                                          PIL02200
    rmax2=0.                                          PIL02210
    DO 22 I=1,180                                     PIL02220
        DO 11 J=1,90                                  PIL02230
        IF (FARBH1(J,I).GT.RMAX1) rmax1=FARBH1(J,I)  PIL02240
        IF (FARBH2(J,I).GT.RMAX2) rmax2=FARBH2(J,I)  PIL02250
11  CONTINUE                                          PIL02260
22  CONTINUE                                          PIL02270
C.  -----draw farbmatrix frame ---top line-----PIL02280
    DO 54 I=1,5                                       PIL02290
        WRITE(61,4)BLKLN//BLKLN//TICKLN//BLKLN      PIL02300
54  WRITE(62,4)BLKLN//BLKLN//TICKLN//BLKLN          PIL02310
        WRITE(61,4)BLKLN//BLKHK                      PIL02320
        WRITE(62,4)BLKLN//BLKHK                      PIL02330
C.  -----save farbmatrix -----PIL02340
    DO 2 I=1,180                                       PIL02350
        DO 1 J=1,90                                    PIL02360
        MAT1(I)(J:J)=CHAR(INT(128./rmax1*FARBH1(J,I))) PIL02370
        MAT2(I)(J:J)=CHAR(INT(128./rmax2*FARBH2(J,I))) PIL02380
1  CONTINUE                                          PIL02390
    IF((I/5.-I/5).NE.0)THEN                            PIL02400
        WRITE(61,4)BLKLN//BLKLN//MAT1(I)//BLKLN     PIL02410
        WRITE(62,4)BLKLN//BLKLN//MAT2(I)//BLKLN     PIL02420
    else                                               PIL02430
        WRITE(61,4)BLKLN//TICKHK//MAT1(I)//TICKHK   PIL02440
        WRITE(62,4)BLKLN//TICKHK//MAT2(I)//TICKHK   PIL02450
    endif                                             PIL02460
    endif                                             PIL02470
2  CONTINUE                                          PIL02470
C.  -----draw farbmatrix frame ---bottom line-----PIL02480
    WRITE(61,4)BLKLN//BLKHK                            PIL02490
    WRITE(62,4)BLKLN//BLKHK                            PIL02500

```

```

DO 55 I=1,5
WRITE(61,4)BLKLN//BLKLN//TICKLN//BLKLN
55 WRITE(62,4)BLKLN//BLKLN//TICKLN//BLKLN
3 * FORMAT(A110)
4 FORMAT(A120)
CALL GLAST
C
RETURN
END
%-----> <-----
%-----> <-----
C=====
C
SUBROUTINE GUTMED
C. 7-----
C. I
C. I Define parameters of tracking media (same as in GEXAM2 1.15)
C. I Medium numbers are kept the same as material numbers
C. I
C. -----
C
ISENS = 1 sensitivity flag
C IFIELD = 0 no magnetic field
C FIELDH = 0. maximum field value
C THAXFD = 0. maximum angle due to field
C DHAXMS = 0.5 maximum step due to multipl. scatt.
C DEEMAX = 0.2 maximum fractional energy loss/step
C EPSIL = 0.01 tracking precision
C STMIN = 0.1 minimum step
C UBUFF = 0. additional user parameters
C #WBUF = 0 number of UBUFF parameters
C
ISENS0 = 0
ISENS1 = 1
IFIELD = 0
FIELDH = 0.
THAXFD = 10.0
DHAXMS = 0.5
DEEMAX = 0.2
EPSIL = 0.005
STMIN = 0.1
UBUFF = 0.
#WBUF = 0
C
C 15=Air
C
CALL GSTMED( 1,'HALL $',15,ISENS0, IFIELD,FIELDH,THAXFD,
* DHAXMS,DEEMAX, EPSIL, STMIN, 0 , 0 )

```

```

PIL02510
PIL02520
PIL02530
PIL02540
PIL02550
PIL02560
PIL02570
PIL02580
PIL02590
PIL00010
PIL00020
PIL00030
PIL00040
PIL00050
PIL00060
PIL00070
PIL00080
PIL00090
PIL00100
PIL00110
PIL00120
PIL00130
PIL00140
PIL00150
PIL00160
PIL00170
PIL00180
PIL00190
PIL00200
PIL00210
PIL00220
PIL00230
PIL00240
PIL00250
PIL00260
PIL00270
PIL00280
PIL00290
PIL00300
PIL00310
PIL00320
PIL00330
PIL00340
PIL00350
PIL00360

```

```

C
DMAXHS = 0.5
DEEMAX = 0.2
EPSIL = 0.01
STMIN = 0.1
C
18=SF5
CALL GSTMED (2,'LEAD GLASS$', 18,ISENS1
+ ,IFIELD,FIELDH,TMAXFD,DMAXHS,DEEMAX,EPSIL,STMIN,UBUFF,NWBUFF)
CALL GPTMED(0)
RETURN
END
C=====
C
SUBROUTINE GUGEO
C. 7-----
C. I
C. I
C. -----
C
DIMENSION PHALL(3)
DIMENSION ASF(5), ZSF(5), WSF(5)
DATA PHALL /35., 35.,35./
C
C          Lead glass mixture parameters
C
C          Pb      K      Na      Si      O
DATA ASF /207.2 , 39.0983, 22.98977, 28.0855, 15.9994/
DATA ZSF / 82. , 19. , 11. , 14. , 8. /
DATA WSF / 0.516, 0.033 , 0.015 , 0.180 , 0.256/
C
CALL GSHIXT (18,'SF5$', ASF, ZSF, 4.08,+5,WSF)
C
C *** Defines USER particular materials
C
CALL GSVOLU ('HALL','BOX ',1,PHALL,3,IVOLM)
CALL GEOPBG
C          close geometry definition (obligatory system routine)
CALL GGCLOS
C
RETURN
END
C=====
C
SUBROUTINE GEOPBG
C. 7-----
C. I
C. I Defines geometry of lead glass converters and absorbers.

```

PIL00370
 PIL00380
 PIL00390
 PIL00400
 PIL00410
 PIL00420
 PIL00430
 PIL00440
 PIL00450
 PIL00460
 PIL00470
 PIL00480
 PIL00490
 PIL00500
 PIL00510
 PIL00520
 PIL00530
 PIL00540
 PIL00550
 PIL00560
 PIL00570
 PIL00580
 PIL00590
 PIL00600
 PIL00610
 PIL00620
 PIL00630
 PIL00640
 PIL00650
 PIL00660
 PIL00670
 PIL00680
 PIL00690
 PIL00700
 PIL00710
 PIL00720
 PIL00730
 PIL00740
 PIL00750
 PIL00760
 PIL00770
 PIL00780
 PIL00790
 PIL00800
 PIL00810
 PIL00820
 PIL00830

| | | |
|----|--|----------|
| C. | I | PIL00840 |
| C. | ----- | PIL00850 |
| C | | PIL00860 |
| | | PIL00870 |
| | DIMENSION PSABS(4),PSAB2(4),PCONV(5),PCONV2(5) | PIL00880 |
| | DATA PSABS(3)/10./ | PIL00890 |
| | DATA PSABS(4) /15./ | PIL00900 |
| | DATA PCONV(5) /4.35/ | PIL00910 |
| | DATA ALPH, DISABS /15., 15./ | PIL00920 |
| | DATA BETA1, BETA2, DISCON /30., 45., 7.5/ | PIL00930 |
| C | | PIL00940 |
| | PSABS(1) = DISABS * TAN(3.141592/180.*ALPH/2.) | PIL00950 |
| | PSABS(2) = PSABS(4) * TAN(3.141592/180.*ALPH/2.) + PSABS(1) | PIL00960 |
| | DO 1001,I = 3, 4 | PIL00970 |
| | PSABS(I) = PSABS(I) /2. | PIL00980 |
| | 1001 CONTINUE | PIL00990 |
| C | | PIL01000 |
| | PSAB2(1) =PSABS(2) | PIL01010 |
| | PSAB2(2) =PSABS(1) | PIL01020 |
| | PSAB2(3) =PSABS(3) | PIL01030 |
| | PSAB2(4) =PSABS(4) | PIL01040 |
| | | PIL01050 |
| C | | PIL01060 |
| | PCONV(1) = DISCON * TAN(3.141592/180.*BETA1/2.) | PIL01070 |
| | PCONV(2) = PCONV(5) * TAN(3.141592/180.*BETA1/2.) + PCONV(1) | PIL01080 |
| | PCONV(3) = DISCON * TAN(3.141592/180.*BETA2/2.) | PIL01090 |
| | PCONV(4) = PCONV(5) * TAN(3.141592/180.*BETA2/2.) + PCONV(3) | PIL01100 |
| | PCONV(5) = PCONV(5) /2. | PIL01110 |
| C | | PIL01120 |
| C | CONVERTERS FOR X<0 : | PIL01130 |
| C | | PIL01140 |
| | PCONV2(1) =PCONV(2) | PIL01150 |
| | PCONV2(2) =PCONV(1) | PIL01160 |
| | PCONV2(3) =PCONV(4) | PIL01170 |
| | PCONV2(4) =PCONV(3) | PIL01180 |
| | PCONV2(5) =PCONV(5) | PIL01190 |
| C | | PIL01200 |
| | CALL GSVOLU ('SAB1','TRD1',2,PSABS,4,IVOLM) | PIL01210 |
| | CALL GSVOLU ('SAB2','TRD1',2,PSABS,4,IVOLM) | PIL01220 |
| | CALL GSVOLU ('SAB3','TRD1',2,PSAB2,4,IVOLM) | PIL01230 |
| | CALL GSVOLU ('SAB4','TRD1',2,PSAB2,4,IVOLM) | PIL01240 |
| | CALL GSVOLU ('CON1','TRD2',2,PCONV,5,IVOLM) | PIL01250 |
| | CALL GSVOLU ('CON2','TRD2',2,PCONV2,5,IVOLM) | PIL01260 |
| C | | PIL01270 |
| C | CALL GSPOS (volume name | PIL01280 |
| C | + , copy number of the volume | PIL01290 |
| C | + , mother volume | PIL01300 |


```

C
C AEUSSERER RING 2. HAELFTE
C
      OFFSET=7.5+(60.-OPANG)/2.
      DO 1005,I =1, 10
        ANGLE=(I-1)*15.
        CALL GSROTH(I+20,ANGLE+90.+OFFSET,0.,90.,90.,ANGLE+OFFSET,0.)
        XCEM = -RABS * SIN(3.141592/180.*(ANGLE+OFFSET))
        ZCEM = -RABS * COS(3.141592/180.*(ANGLE+OFFSET))
        CALL GSPOS ('SAB3',I,'HALL',
+           XCEM,-PSABS(3),ZCEM,I+20,'ONLY')
        CALL GSPOS ('SAB4',I,'HALL',
+           XCEM, PSABS(3),ZCEM,I+20,'ONLY')
1005  CONTINUE
      RETURN
      END
C=====
      SUBROUTINE UDET
C
C.  I-----
C.  I
C.  I Subroutine called at initialisation time
C.  I
C.  -----
C.  -----
C.  I UDET calls GSDET and GSDETH.
C.  I GSDET allocates detector voloumes 'CONV' and 'CON2' to the
C.  I   set 'DELE'; 'SABS and 'SAB2' to the set 'ECAL'.
C.  I   Each detector volume is declared sensetive
C.  I   through the tracking medium parameter ISVOL of SUBROUT
C.  I   GSTHED.Activation of the set is established through
C.  I   FFREAD card SETS 'DELE' 'ECAL'
C.  -----
C
      COMMON/GCLIST/NHSTA,NGET ,NSAVE,NSETS,NPRIN,NGEOM,NVIEW,NPLOT
+       ,NSTAT,LHSTA(20),LGET (20),LSAVE(20),LSETS(20),LPRIN(20)
+       ,LGEOM(20),LVIEW(20),LPLOT(20),LSTAT(20)
C
      CHARACTER*4 NAHESV(2)
      CHARACTER*4 NAHESH(1)
      DIMENSION NBITSV(2),NBITSH(1),ORIG(1),FACT(1)
C
      DATA NAHESV/'HALL','CON1'/
      DATA NBITSV/2*3/
      DATA NAHESH/'ELOS'/
      DATA NBITSH/32/
      DATA ORIG/0.0/

```

PILO1760
 PILO1770
 PILO1780
 PILO1790
 PILO1800
 PILO1810
 PILO1820
 PILO1830
 PILO1840
 PILO1850
 PILO1860
 PILO1870
 PILO1880
 PILO1890
 PILO1900
 PILO1910
 PILO1920
 PILO1930
 PILO1940
 PILO1950
 PILO1960
 PILO1970
 PILO1980
 PILO1990
 PILO2000
 IPILO2010
 IPILO2020
 IPILO2030
 IPILO2040
 IPILO2050
 IPILO2060
 IPILO2070
 PILO2080
 PILO2090
 PILO2100
 PILO2110
 PILO2120
 PILO2130
 PILO2140
 PILO2150
 PILO2160
 PILO2170
 PILO2180
 PILO2190
 PILO2200
 PILO2210
 PILO2220

```

DATA FACT/1.E+6/                                PILO2230
NWHI=1000                                        PILO2240
NWDI=500                                         PILO2250
C                                                PILO2260
C. -----PILO2270
C. I Assign detector 'CONV' to set 'DELE' and define the parms:  IPILO2280
C. I 2=NUMBER OF VOLUME DESCRIPTORS ==TIEFE IN VOLUME TREE      IPILO2290
C. I NAMESV = vector of volume descriptors                    IPILO2300
C. I NBITSV = vector of NV numbers for packing the volume numbers IPILO2310
C. I 1 = IDTYPE                                              IPILO2320
C. I NWHI = number of words for primary allocation of HITS banks IPILO2330
C. I NWDI = number of words for primary allocation of DIGI banks IPILO2340
C. I      when first allocation not sufficient                IPILO2350
C. I IST= return parameter=position of set in bank JSET      IPILO2360
C. I IFT=return parameter                                    IPILO2370
C. -----PILO2380
C                                                PILO2390
C                                                PILO2400
CALL GSDET('DELE','CON1',2,NAMESV,NBITSV,1,NWHI,NWDI,IST,IFT) PILO2410
NAMESV(2)='CON2'                                           PILO2420
CALL GSDET('DELE','CON2',2,NAMESV,NBITSV,1,NWHI,NWDI,IST,IFT) PILO2430
NAMESV(2)='SAB1'                                           PILO2440
NBITSV(1)=5                                                PILO2450
NBITSV(2)=5                                                PILO2460
CALL GSDET('ECAL','SAB1',2,NAMESV,NBITSV,2,NWHI,NWDI,IST,IFT) PILO2470
NAMESV(2)='SAB2'                                           PILO2480
CALL GSDET('ECAL','SAB2',2,NAMESV,NBITSV,2,NWHI,NWDI,IST,IFT) PILO2490
NAMESV(2)='SAB3'                                           PILO2500
CALL GSDET('ECAL','SAB3',2,NAMESV,NBITSV,2,NWHI,NWDI,IST,IFT) PILO2510
NAMESV(2)='SAB4'                                           PILO2520
CALL GSDET('ECAL','SAB4',2,NAMESV,NBITSV,2,NWHI,NWDI,IST,IFT) PILO2530
C                                                PILO2540
C                                                PILO2550
C print SET and DETECTOR volume parameters                PILO2560
CALL GPSETS(0,0)                                           PILO2570
C                                                PILO2580
C. -----PILO2590
C. The routine GSDETH is used at initialisation time once the geo- PILO2600
C. metrical volumes have been defined to describe the hit elements PILO2610
C. and the way to do packing in memory and on tape.          PILO2620
C. CALL GSDETH(IUSET,IUDET,NH,NAMESH,NBITSH,ORIG,FACT        PILO2630
C. IUSET,IUDET =set and detector identifier                  PILO2640
C. NH =number of elements to be stored per hit                PILO2650
C. NAMESH= the NH variable names for the hit elements         PILO2660
C. NBITSH= the NH bit numbers for packing the variable values PILO2670
C. ORIG,FACT scale integers to transform hit elements in positive PILO2680
C. integers. IVAR(I)=(VAR(i)+ORIG(I))*FACT(I)                 PILO2690

```

```

C. -----PILO2700
C.                                     PILO2710
C.                                     PILO2720
C.                                     PILO2730
CALL GSDETH('ECAL','SAB1',1,NAMESH,NBITSH,ORIG,FACT)
CALL GSDETH('ECAL','SAB2',1,NAMESH,NBITSH,ORIG,FACT)
CALL GSDETH('ECAL','SAB3',1,NAMESH,NBITSH,ORIG,FACT)
CALL GSDETH('ECAL','SAB4',1,NAMESH,NBITSH,ORIG,FACT)
CALL GSDETH('DELE','CON1',1,NAMESH,NBITSH,ORIG,FACT)
CALL GSDETH('DELE','CON2',1,NAMESH,NBITSH,ORIG,FACT)
C.                                     PILO2790
RETURN                                     PILO2800
END                                         PILO2810

SUBROUTINE GUTREV                           PILO0010
C.                                     PILO0020
C. *****PILO0030
C. *                                     *PILO0040
C. *                                     *PILO0050
C. *      User routine to control tracking of one event *PILO0060
C. *                                     *PILO0070
C. *      Called by GRUN *PILO0080
C. *                                     *PILO0090
C. *                                     *PILO0100
C. *****PILO0110
C.                                     PILO0120
COMMON/GCKINE/IKINE,PKINE(10),ITRA,ISTAK,IVERT,IPART,ITRTYP
+      ,NAPART(5),AHASS,CHARGE,TLIFE,VERT(3),PVERT(4),IPAOLD
C.                                     PILO0150
COMMON/GCFLAG/IDEBUG,IDEHIN,IDEMAX,ITEST,IDRUN,IDEVT,IEORUN
+      ,IEOTRI,IEVENT,ISWIT(10),IFINIT(20),NEVENT,WRNDH(2)
C.                                     PILO0180
C. *****PILO0190
C. * GTREVE loops over all tracks present in the structure JKINE *PILO0200
C. * and for each track in turn stores its initial parameters of *PILO0210
C. * the corresponding particle in the common block /GCKINE/,then *PILO0220
C. * calls the subroutine GUTRAK where the user is free to take *PILO0230
C. * any other action than the default call of GTRACK (it tracks *PILO0240
C. * the particle up to the end:stop decay interaction or escape. *PILO0250
C. *                                     *PILO0260
C. *****PILO0270
C.                                     PILO0280
C.                                     PILO0290
CALL GTREVE                                PILO0300
C.                                     PILO0310
RETURN                                     PILO0320
END                                         PILO0330
SUBROUTINE GUSTEP                           PILO0340
C.                                     PILO0350

```

```

C. *****PIL00360
C. * *PIL00370
C. * *PIL00380
C. * User routine called at the end of each tracking step *PIL00390
C. * INWVOL is initialized to 1 when entering a new volume and *PIL00400
%-----> <-----
%-----> <-----
C. * set to 0 for all steps inside the volume or to 2 *PIL00410
C. * if the particle has reached a volume boundary. *PIL00420
C. * ISTOP is initialized to 0 and set to 1 if the particle *PIL00430
C. * loses its identity or to 2 if it stops *PIL00440
C. * The effect witch is responsible for the limitation of the step *PIL00450
C. * as well as the corrective effects wich have been applied at the *PIL00460
C. * end of the step are recorded in NMEC words of the mechanism *PIL00470
C. * vector *PIL00480
C. * LMEC this is ment as debug facility. *PIL00490
C. * *PIL00500
C. * the number of secondary products is stored in common /GCKING/ *PIL00510
C. * together with an identification (ARRAY LAHEC) of witch process *PIL00520
C. * is responsible. *PIL00530
C. * *PIL00540
C. * GUSTEP keeps track of the newly produced secondary track.It *PIL00550
C. * stores the datas in the structure JKINE *PIL00560
C. * *PIL00570
C. *****PIL00580
C. *PIL00590
C. *PIL00600
C. COMMON/GCVOLU/NLEVEL,NAHES(15),NUMBER(15), *PIL00610
+LVOLUM(15),LINDEX(15),GTRAN(3,15),GRHAT(10,15), *PIL00620
+NGPAR(15),GPAR(50,15),GONLY(15),GLX(3), *PIL00630
+NJNEXT(2),JNEXT(15),INEXT(15),NNEXT(15) *PIL00640
C. *PIL00650
C. COMMON/GCFLAG/IDEBUG, IDEHIN, IDEMAX, ITEST, IDRUM, IDEVT, IEBORUM *PIL00660
+ , IEOTRI, IEVENT, ISWIT(10), IFINIT(20), NEVENT, WRNDH(2) *PIL00670
C. *PIL00680
C. COMMON/GCTHED/NUHED, NATHED(5), ISVOL, IFIELD, FIELDH, THAXFD, DHAXHS *PIL00690
+ , DEEMAX, EPSIL, STMIN, CFIELD, CHULS, IUPD, ISTPAR, NUHOLD *PIL00700
C. *PIL00710
C. COMMON/GCKINE/IKINE, PKINE(10), ITRA, ISTAK, IVERT, IPART, ITRTYP *PIL00720
+ , NAPART(5), AHASS, CHARGE, TLIFE, VERT(3), PVERT(4), IPAOLD *PIL00730
C. *PIL00740
C. COMMON/GCTRAK/VECT(7), GETOT, GEKIN, VOUT(7), NMEC, LMEC(30), NAHEC(30) *PIL00750
+ , NSTEP, MAXNST, DESTEP, SAFETY, SLENG, STEP, SNEXT, SFIELD, SPHYS *PIL00760
+ , TOFG, GEKRAT, IGNEXT, INWVOL, ISTOP, IDECAD, IEKBIN *PIL00770
C. *PIL00780
C. COMMON/GCSETS/IUSET, IUDET, ISET, IDET, IDTYPE, NVNAME, NUHBV(20) *PIL00790
C. *PIL00800

```

```

COMMON/GCKING/KCASE,NGKINE,GKIN(5,100),TOFD(100)
C
COMMON/EDEPOS/ETOT
INTEGER      NGKINE
CHARACTER*4  KCASE
C
C.
C.
C.
C
*****
*
*           Labelled COMMON blocks related to section TRAK
*           -----
*
*   COMMON /GCJLOC/  NJLOC(2),JTM, JMA, JLOSS, JPROB, JMIXT,
*   +                JCOMP, JBREM, JPAIR, JDRAY, JPFIS, JHUNU, JHADR
* Self>-explanatory [CONS 199]
*
*
*   COMMON /GCKINE/  IKINE, PKINE(10), ITRA, ISTAK, IVERT, IPART,
*                   ITRTYP,MAPART(5), AMASS,  CHARGE, TLIFE,
*   +                VERT(3),PVERT(4), IPAOLD
*
* IKINE      User flag
* PKINE      User array
* ITRA       Current track number
* ISTAK      Current stack>-track number
* IVERT      Current vertex number
* IPART      Current particle number
* ITRTYP     'Tracking type' of current particle
* MAPART     Name of current particle
* AMASS     Mass of current particle
* CHARGE     Charge of current particle
* TLIFE     Life>-time of current particle
* VERT       Coordinates of origin vertex for current track
* PVERT      Track kinematics at origin vertex
* IPAOLD     Particle number of the last track.
*
*
*   COMMON /GCKING/  KCASE, NGKINE, GKIN(5,100), TOFD(100)
* KCASE      Mechanism having generated the secondary particles
* NGKINE     Number of generated secondaries
* GKIN(1,I) Px of I>-th secondary
* GKIN(2,I) Py           " "
* GKIN(3,I) Pz           " "
* GKIN(4,I) E            " "
* GKIN(5,I) Particle type " "
* TOFD(I)    Time delay introduced by the interaction.

```

```

PIL00810
PIL00820
PIL00830
PIL00840
PIL00850
PIL00860
PIL00870
PIL00880
PIL00890
PIL00900
PIL00910
PIL00920
PIL00930
PIL00940
PIL00950
PIL00960
PIL00970
PIL00980
PIL00990
PIL01000
PIL01010
PIL01020
PIL01030
PIL01040
PIL01050
PIL01060
PIL01070
PIL01080
PIL01090
PIL01100
PIL01110
PIL01120
PIL01130
PIL01140
PIL01150
PIL01160
PIL01170
PIL01180
PIL01190
PIL01200
PIL01210
PIL01220
PIL01230
PIL01240
PIL01250
PIL01260
PIL01270

```

```

*
*
*          COMMON /GCMATE/ NHAT, NNAME(5), A, Z, DENS, RADL, ABSL
* NHAT      Current material number
* NNAME     Name of current material
* A         Atomic weight of current material
* Z         Atomic number of current material
* DENS      Density of current material
* RADL      Radiation length of current material
* ABSL      Absorption length of current material
*
*
*          COMMON /GCSETS/ IUSER, IUDET, ISET, IDET, IDTYPE, NNAME,
* NUMBV(10)
* IUSER     Set identifier
* IUDET     Detector identifier
* ISET      Position of set in bank JSET
* IDET      Position of detector in bank JS=IB(JSET-IDET)
* IDTYPE    User defined detector type
* NNAME     Number of elements in NUMBV
* NUMBV     List of volume numbers to identify the detector
*
*
*          COMMON/GCTATI/NSEC,KIND(30),EN(30),PL(30),PT(30),THETA(30),PHI(30)
* NSEC      Number of generated secondaries
* KIND      'Tracking type' of secondaries
* EN        Energy of secondaries
* PL        Longitudinal momentum of secondaries
* PT        Transverse momentum of secondaries
* THETA     Angles of secondaries
* PHI       Angles of secondaries
*
*
*          COMMON /GCTMED/ NUHED, NAME(5), ISVOL, IFIELD, FIELDH,
* +          THAXFD, DHAXHS, DEEHAX, EPSIL, STMIN,
* +          CFIELD, CHULS, IUPD, ISTEP, NUHOLD
* NUHED     Current tracking medium number
* NAME      Name of current tracking medium
* ISVOL     Sensitive volume flag (if non zero)
* IFIELD    Field map type (0 if no field)
* FIELDH    Maximum field
* THAXFD    Maximum field turning angle in one step
* DHAXHS    Maximum multiple scattering displacement in one step
* DEEHAX    Maximum energy loss gradient in one step
* EPSIL     Boundary crossing accuracy
* STMIN     Minimum step size by energy loss or by multiple
*           scattering

```

```

* CFIELD      Constant for field step evaluation                *PILO1750
* CHULS      Constant for multiple scattering step evaluation   *PILO1760
* IUDP       0 If medium change, (1 otherwise)                 *PILO1770
* ISTOPAR    0 If standard tracking parameters                  *PILO1780
* NUMOLD     Numed of the last medium.                          *PILO1790
*
*
*
*          COMMON /GCTRAK/ VECT(7), GETOT, GEKIN, VOUT(7), NMEC,
*          +          LMEC(30), NAHEC(30), NSTEP, MAXNST, DESTEP,
*          +          SAFETY, SLENG, STEP, SNEXT, SFIELD, SHPHYS,
*          +          TOFG, GEKRAT, IGNEXT, INWVOL, ISTOP, IDECAD, *PILO1850
* IEKBIN
* VECT       Current track parameters (X,Y,Z,Px/P,Py/P,Pz/P,P)  *PILO1870
* GETOT     Current track total energy                          *PILO1880
* GEKIN     Current track kinetic energy                       *PILO1890
* VOUT     Same as VECT after extrapolation                    *PILO1900
* NMEC     Number of mechanisms for current step               *PILO1910
* LMEC     List of mechanism indices for current step         *PILO1920
* NAHEC    Mechanism names >- See below                       *PILO1930
* NSTEP    Number of steps so far                             *PILO1940
* MAXNST   Maximum number of steps allowed (default = 10000) *PILO1950
* DESTEP   Total energy lost in current step                   *PILO1960
* SAFETY   Overestimated distance to closest medium boundary  *PILO1970
* SLENG    Track length at current point                       *PILO1980
* STEP     Size of curent tracking step                         *PILO1990
* SNEXT    Straight distance to next current medium boundary  *PILO2000
* SHUL     Multiple scattering step size evaluation            *PILO2010
* SLOSS    Energy loss step size evaluation                    *PILO2020
* SFIELD   Field turning angle step size evaluation           *PILO2030
* GEKRAT   Interpolation factor in table ELOW                 *PILO2040
* IGNEXT   Flag set to 1 when SNEXT has to be recomputed     *PILO2050
* INWVOL   Flag set to 1 when entering a new volume,
*          to 2 when leaving a volume and                      *PILO2070
*          to 3 when leaving the experimental setup.          *PILO2080
*          (Otherwise 0)                                       *PILO2090
* ISTOP    Flag set to 1 when track loses its identity        *PILO2100
*          to 2 when energy below cut                          *PILO2110
* IDECAD   Energy decade                                       *PILO2120
* IEKBIN   Current kinetic energy bin in table ELOW            *PILO2130
*****PILO2140
C.
COMMON/ESAMPL/ DEGAH,DELEC,DENEU,DEHAD,DEHUO,EBREN
COMMON/GAMMA/PX1,PY1,PZ1,PX2,PY2,PZ2,E11,E22
CHARACTER*4 IUSET,IUDET,NAHEC,NAHES
character*1 ch
CALL GSKING(0)
C
PILO2150
PILO2160
PILO2170
PILO2180
PILO2190
PILO2200
PILO2210

```

```

C      calculate total energy deposit for one event
C
MPION=134.9642
IF (NGKINE.GT.0)THEN
  IF((IPART.EQ.7).AND.(GKIN(5,1).EQ.1))THEN
    PX1=GKIN(1,1)
    PY1=GKIN(2,1)
    PZ1=GKIN(3,1)
    E11=GKIN(4,1)
    PX2=GKIN(1,2)
    PY2=GKIN(2,2)
    PZ2=GKIN(3,2)
    E22=GKIN(4,2)
    CALL HFILL(13,1000.*PX1+MPION,1.)
%----->          <-----
%----->          <-----
    CALL HFILL(14,1000.*PY1+MPION,1.)
    CALL HFILL(15,1000.*PZ1+MPION,1.)
    CALL HFILL(19,E22*1000.,1.)
    CALL HFILL(19,E11*1000.,1.)
    CALL HFILL(21,E11*1000.,1.)
    CALL HFILL(22,E22*1000.,1.)
    IF(IDEBUG*ISWIT(2).EQ.1) THEN
      WRITE(9,*)'IPART=',IPART,'SECPART=',GKIN(5,1),GKIN(5,2)
      WRITE(9,*)'PX OF 1ST SECONDARY','PY ', 'PZ ', 'E '
      WRITE(9,*)GKIN(1,1),GKIN(2,1),GKIN(3,1),GKIN(4,1)
      WRITE(9,*)'PX OF 2ST SECONDARY','PY ', 'PZ ', 'E '
      WRITE(9,*)GKIN(1,2),GKIN(2,2),GKIN(3,2),GKIN(4,2)
    ENDIF
  ENDIF
ENDIF
C
IF(IDEBUG*ISWIT(9).EQ.1)then
  do 1 i=1,nmec
1   write(*,*)lmec(i),namec(lmec(i)), 'part',ipart
    if (istop.eq.1)then
      write(*,*)destep,'-- inwvol---',inwvol,'-identity-loss'
    endif
    if (istop.eq.2)then
      write(*,*)destep,'-- inwvol---',inwvol,'-particle stopped'
    endif
    if (istop.eq.0)then
      write(*,*)destep,'-- inwvol---',inwvol,'-----'
    endif
  endif
endif
C
C *** Energy deposited by different tracking types

```

```

PIL02220
PIL02230
PIL02240
PIL02250
PIL02260
PIL02270
PIL02280
PIL02290
PIL02300
PIL02310
PIL02320
PIL02330
PIL02340
PIL02350
PIL02360
PIL02370
PIL02380
PIL02390
PIL02400
PIL02410
PIL02420
PIL02430
PIL02440
PIL02450
PIL02460
PIL02470
PIL02480
PIL02490
PIL02500
PIL02510
PIL02520
PIL02530
PIL02540
PIL02550
PIL02560
PIL02570
PIL02580
PIL02590
PIL02600
PIL02610
PIL02620
PIL02630
PIL02640
PIL02650
PIL02660

```

| | | |
|---|--|--------------|
| | | PIL02670 |
| C | IF(ITRTYP.EQ.1)THEN | PIL02680 |
| | gamma tracking | PIL02690 |
| C | DEGAM=DEGAM+DESTEP | PIL02700 |
| | GOTO 2 | PIL02710 |
| | ENDIF | PIL02720 |
| | IF(ITRTYP.EQ.2)THEN | PIL02730 |
| C | electron / positron tracking | PIL02740 |
| | DELEC=DELEC+DESTEP | PIL02750 |
| | do 3 i=1,nmec | PIL02760 |
| | IF(lmec(i).EQ.9) EBREM=EBREM+DESTEP | PIL02770 |
| 3 | CONTINUE | PIL02780 |
| | GOTO 2 | PIL02790 |
| | ENDIF | PIL02800 |
| | IF(ITRTYP.EQ.3)THEN | PIL02810 |
| C | neutron tracking | PIL02820 |
| | DENEU=DENEU+DESTEP | PIL02830 |
| | GOTO 2 | PIL02840 |
| | ENDIF | PIL02850 |
| | IF(ITRTYP.EQ.4)THEN | PIL02860 |
| C | hadron tracking | PIL02870 |
| | DEHAD=DEHAD+DESTEP | PIL02880 |
| | GOTO 2 | PIL02890 |
| | ENDIF | PIL02900 |
| | IF(ITRTYP.EQ.5)THEN | PIL02910 |
| C | muon tracking | PIL02920 |
| | DEMUO=DEMUO+DESTEP | PIL02930 |
| | GOTO 2 | PIL02940 |
| | ENDIF | PIL02950 |
| 2 | IF(DESTEP.NE.0.)ETOT=ETOT+DESTEP | PIL02960 |
| C | | PIL02970 |
| C | store current spacepoint from common/GCTRAK/ into data structure | PIL02980 |
| C | JXYZ | PIL02990 |
| | IF(DESTEP.NE.0.)CALL GSCHIT(ISET,IDET,ITRA,NUMBV,DESTEP,1,IHIT) | PIL03000 |
| C | | PIL03010 |
| C | making movies : | PIL03020 |
| C | | PIL03030 |
| | CALL GSXYZ | PIL03040 |
| | IF (IDEBUG*ISWIT(7).EQ.1)THEN | PIL03050 |
| | CALL GDXYZ(0) | PIL03060 |
| | CALL GDSHOW(1) | PIL03070 |
| | CALL GDXYZ(0) | PIL03080 |
| | CALL TVNEXT(0) | PIL03090 |
| | ENDIF | PIL03100 |
| | RETURN | PIL03110 |
| | END | PIL03120 |
| | SUBROUTINE GUTRAK | PIL00010 |


```

write(*,*)'leaving itra',itra,'istak',istak,'itrtyp',itrtyp,'****'PIL00490
endif
RETURN
END
=====
C
SUBROUTINE GUKINE
C. -----
C. I GENERATES KINEMATICS FOR PRIMARY TRACK
C. -----
C
COMMON/GCFLAG/IDEBUG, IDEMIN, IDEMAX, ITEST, IDRUM, IDEVT, IERUM
+      , IEOTRI, IEVENT, ISWIT(10), IFINIT(20), NEVENT, NRNDH(2)
C
COMMON/GCKINE/IKINE, PKINE(10), ITRA, ISTAK, IVERT, IPART, ITRTYP
+      , NPART(5), AMASS, CHARGE, TLIFE, VERT(3), PVERT(4), IPAOLD
C
COMMON/EDEPOS/ETOT
COMMON/ESAMPL/ DEGAM, DELEC, DENEU, DEHAD, DEMUO , EBREM
COMMON/IMPULS/ PLAB(3)
DIMENSION VERTEX(3)
*
*
* -----
*
VERTEX(1) = 0.
VERTEX(2) = 0.
VERTEX(3) = 0.
  READ (44,*)(PKINE(J),J=1,3)
  PLAB(1) = PKINE(1)
  PLAB(2) = PKINE(2)
  PLAB(3) = PKINE(3)
CALL GSVERT(VERTEX,0,0,0,0,NVERT)
CALL GSKINE(PLAB,IKINE,NVERT,0,0,NT)
*
*      Reset energy deposited
*
ETOT=0.
DEGAM=0.
DELEC=0.
DENEU=0.
DEHAD=0.
DEMUO=0.
EBREM=0.
MPION=134.9642

```

```

*
CALL HFILL(16,1000.*PKINE(1)+MPION,1.)
CALL HFILL(17,1000.*PKINE(2)+MPION,1.)
CALL HFILL(18,1000.*PKINE(3)+MPION,1.)
c write(*,*)'*****'
C
*
IF(IDEBUG.EQ.1.AND.ISWIT(2).EQ.1) THEN
CALL GPRINT('VERT',0)
CALL GPRINT('KINE',0)
ENDIF
*
RETURN
END

SUBROUTINE GUOUT
C
C 7-----
C I
C I CALLED AT THE END OF EACH EVENT
C I
C -----
C
COMMON//H(16000)
C
COMMON/TOTAL/TOTALS1(3),TOTALS2(3)
COMMON/EDEPOS/ETOT
COMMON/ESAMPL/ DEGAH,DELEC,DENEU,DEHAD,DEHUG,EBREH
COMMON/GCKINE/IKINE,PKINE(10),ITRA,ISTAK,IVERT,IPART,ITRTYP
+ ,MAPART(5),AHASS,CHARGE,TLIFE,VERT(3),PVERT(4),IPAOLD
C
COMMON/GCFLAG/IDEBUG,IDEHIN,IDEMAX,ITEST,IDRUN,IDEVT,IEORUN
+ ,IEOTRI,IEVENT,ISWIT(10),IFINIT(20),NEVENT,NRNDM(2)
C
COMMON/GAMMA/PX1,PY1,PZ1,PX2,PY2,PZ2,E11,E22
C
PARAMETER (NHX=400,NV=2,NH=1)
DIMENSION NUMVS(NV)
COMMON/ABSORB/ NUMBV1(NV,NHX),NUMBV2(NV,NHX),NUMBV3(NV,NHX),
+ NUMBV4(NV,NHX),NUMBV5(NV,NHX),NUMBV6(NV,NHX),
+ BITS1(NH,NHX),BITS2(NH,NHX),BITS3(NH,NHX),
+ BITS4(NH,NHX),BITS5(NH,NHX),BITS6(NH,NHX),
+ NHITS1,NHITS2,NHITS3,NHITS4,NHITS5,NHITS6
DIMENSION ITRA(NHX)
DIMENSION RITEST(10,3),XX(3),YY(3),POS1(3),POS2(3),ZAXIS(3)
DIMENSION TT(3),VVV(2),UUU(2)
REAL CHAX1,CHAX2,ANGLE

```

```

PIL00960
PIL00970
PIL00980
PIL00990
PIL01000
PIL01010
PIL01020
PIL01030
PIL01040
PIL01050
PIL01060
PIL01070
PIL01080
PIL01090
PIL01100
GU000010
GU000020
GU000030
GU000040
GU000050
GU000060
GU000070
GU000080
GU000090
GU000100
GU000110
GU000120
GU000130
GU000140
GU000150
GU000160
GU000170
GU000180
GU000190
GU000200
GU000210
GU000220
GU000230
GU000240
GU000250
GU000260
GU000270
GU000280
GU000290
GU000300
GU000310
GU000320

```


| | | |
|-----|---|----------|
| C | | GU001270 |
| C | | GU001280 |
| | IF(NHITS5.GT.0)THEN | GU001290 |
| | DO 22 I=1,NHITS5 | GU001300 |
| | RITEST(I,1)=BITS5(1,I) | GU001310 |
| | RITEST(I,2)=I | GU001320 |
| | RITEST(I,3)=5 | GU001330 |
| 22 | CONTINUE | GU001340 |
| | ENDIF | GU001350 |
| | IF(NHITS6.GT.0)THEN | GU001360 |
| | DO 333 I=NHITS5+1,NHITS5+NHITS6 | GU001370 |
| | RITEST(I,1)=BITS6(1,I-NHITS5) | GU001380 |
| | RITEST(I,2)=I-NHITS5 | GU001390 |
| | RITEST(I,3)=6 | GU001400 |
| 333 | CONTINUE | GU001410 |
| | ENDIF | GU001420 |
| | RMAX1=0 | GU001430 |
| | IF(NHITS6+NHITS5.GT.1)THEN | GU001440 |
| | DO 444 I=1,NHITS6+NHITS5 | GU001450 |
| | IF(RITEST(I,1).GT.RMAX1)THEN | GU001460 |
| | ISAVE1=I | GU001470 |
| | RMAX1=RITEST(I,1) | GU001480 |
| | ENDIF | GU001490 |
| 444 | CONTINUE | GU001500 |
| | RMAX2=0 | GU001510 |
| | DO 555 I=1,NHITS6+NHITS5 | GU001520 |
| | IF((RITEST(I,1).GT.RMAX2).AND.(RITEST(I,1).LT.RMAX1))THEN | GU001530 |
| | ISAVE2=I | GU001540 |
| | RMAX2=RITEST(I,1) | GU001550 |
| | ENDIF | GU001560 |
| 555 | CONTINUE | GU001570 |
| | ENDIF | GU001580 |
| C | | GU001590 |
| C | CONVERSION REAL --> INTEGER: | GU001600 |
| C | | GU001610 |
| | ITET12=RITEST(ISAVE1,2) | GU001620 |
| | ITET13=RITEST(ISAVE1,3) | GU001630 |
| | ITET22=RITEST(ISAVE2,2) | GU001640 |
| | ITET23=RITEST(ISAVE2,3) | GU001650 |
| C | | GU001660 |
| C | EVENT CLASSIFICATION: | GU001670 |
| C | | GU001680 |
| C | ct= energy cut parameter for a converter (i.e. ADC threshold) | GU001690 |
| | CT=0.001 | GU001700 |
| | | GU001710 |
| C | CT=0.0 | GU001720 |
| | IF((ITET13.EQ.5).AND.(ITET23.EQ.5))THEN | GU001730 |

```

      IF((RITEST(ISAVE1,1).GT.CT).AND.(RITEST(ISAVE2,1).GT.CT))THEN      GU001740
      ITAG=ITAG+100                                                         GU001750
      II=RITEST(ISAVE1,2)                                                 GU001760
      JJ=RITEST(ISAVE2,2)                                                 GU001770
      ENDIF                                                                GU001780
    ENDIF                                                                GU001790
  IF((ITET13.EQ.5).AND.(ITET23.EQ.6))THEN                                GU001800
  IF((RITEST(ISAVE1,1).GT.CT).AND.(RITEST(ISAVE2,1).GT.CT))THEN      GU001810
  ITAG=ITAG+1100                                                         GU001820
  II=RITEST(ISAVE1,2)                                                 GU001830
  JJ=RITEST(ISAVE2,2)                                                 GU001840
  ENDIF                                                                GU001850
  ENDIF                                                                GU001860
  IF((ITET13.EQ.6).AND.(ITET23.EQ.5))THEN                                GU001870
  IF((RITEST(ISAVE1,1).GT.CT).AND.(RITEST(ISAVE2,1).GT.CT))THEN      GU001880
  ITAG=ITAG+1100                                                         GU001890
  II=RITEST(ISAVE2,2)                                                 GU001900
  JJ=RITEST(ISAVE1,2)                                                 GU001910
  ENDIF                                                                GU001920
  ENDIF                                                                GU001930
  IF((ITET13.EQ.6).AND.(ITET23.EQ.6))THEN                                GU001940
  IF((RITEST(ISAVE1,1).GT.CT).AND.(RITEST(ISAVE2,1).GT.CT))THEN      GU001950
  ITAG=ITAG+1000                                                         GU001960
  II=RITEST(ISAVE1,2)                                                 GU001970
  JJ=RITEST(ISAVE2,2)                                                 GU001980
  ENDIF                                                                GU001990
%----->                                                                <-----
%----->                                                                <-----
  ENDIF                                                                GU002000
  IGOOD=0                                                                GU002010
C                                                                           GU002020
C                                                                           GU002030
C   look if the converters are not neighboured and if there             GU002040
C   are hits in the absorbers behind them                               GU002050
C                                                                           GU002060
C   IF ((ITAG.EQ.101).OR.(ITAG.EQ.111)) THEN                            GU002070
C     UPPER X-PLANE                                                     GU002080
C       IF(ABS(NUMBV5(2,II)-NUMBV5(2,JJ)).LT.2)THEN                    GU002090
C         CONVERTER BENACHBART- BAD EVENT                               GU002100
C         ELSE                                                           GU002110
C         CALL GEOEFF                                                    GU002120
C         FETCH CORRESPONDING ABSORBERS                                  GU002130
C         CALL CHECK(NUMBV5(2,II),NUMBV5(2,JJ),NUMBV1,NUMBV1,          GU002140
+         NHITS1,NHITS1,IGOOD,IFLG,                                     GU002150
+         'CON1','CON1','SAB1','SAB1')                                 GU002160
C         IF (IGOOD.EQ.1)GOTO 99                                         GU002170
C         CALL CHECK(NUMBV5(2,II),NUMBV5(2,JJ),NUMBV1,NUMBV2,          GU002180
+         NHITS1,NHITS2,IGOOD,IFLG,

```

```

+      'CON1','CON1','SAB1','SAB2')          GU002190
      IF (IGOOD.EQ.1)GOTO 99                  GU002200
      CALL CHECK(NUMBV5(2,II),NUMBV5(2,JJ),NUMBV2,NUMBV1, GU002210
+      NHITS2,NHITS1,IGOOD,IFLG,            GU002220
+      'CON1','CON1','SAB2','SAB1')        GU002230
      IF (IGOOD.EQ.1)GOTO 99                  GU002240
      CALL CHECK(NUMBV5(2,II),NUMBV5(2,JJ),NUMBV2,NUMBV2, GU002250
+      NHITS2,NHITS2,IGOOD,IFLG,            GU002260
+      'CON1','CON1','SAB2','SAB2')        GU002270
      IF(IGOOD.EQ.1)GOTO 99                  GU002280
      ENDIF                                    GU002290
    ELSE                                       GU002300
C+++++                                       GU002310
      IF((ITAG.EQ.1010).OR.(ITAG.EQ.1011))THEN GU002320
C      LOWER X-PLANE                          GU002330
      IF(ABS(NUMBV6(2,II)-NUMBV6(2,JJ)).LT.2)THEN GU002340
C      CONVERTER BENACHBART- BAD EVENT        GU002350
      ELSE                                     GU002360
      CALL GEOEFF                              GU002370
C      FETCH CORRESPONDING ABSORBERS          GU002380
      CALL CHECK(NUMBV6(2,II),NUMBV6(2,JJ),NUMBV3,NUMBV3, GU002390
+      NHITS3,NHITS3,IGOOD,IFLG,            GU002400
+      'CON2','CON2','SAB3','SAB3')        GU002410
      IF (IGOOD.EQ.1)GOTO 99                  GU002420
      CALL CHECK(NUMBV6(2,II),NUMBV6(2,JJ),NUMBV3,NUMBV4, GU002430
+      NHITS3,NHITS4,IGOOD,IFLG,            GU002440
+      'CON2','CON2','SAB3','SAB4')        GU002450
      IF (IGOOD.EQ.1)GOTO 99                  GU002460
      CALL CHECK(NUMBV6(2,II),NUMBV6(2,JJ),NUMBV4,NUMBV3, GU002470
+      NHITS4,NHITS3,IGOOD,IFLG,            GU002480
+      'CON2','CON2','SAB4','SAB3')        GU002490
      IF (IGOOD.EQ.1)GOTO 99                  GU002500
      CALL CHECK(NUMBV6(2,II),NUMBV6(2,JJ),NUMBV4,NUMBV4, GU002510
+      NHITS4,NHITS4,IGOOD,IFLG,            GU002520
+      'CON2','CON2','SAB4','SAB4')        GU002530
      IF(IGOOD.EQ.1)GOTO 99                  GU002540
      ENDIF                                    GU002550
    ELSE                                       GU002560
C+++++                                       GU002570
      IF (ITAG.EQ.1111) THEN                  GU002580
      CALL GEOEFF                              GU002590
C      FETCH CORRESPONDING ABSORBERS          GU002600
      CALL CHECK(NUMBV5(2,II),NUMBV6(2,JJ),NUMBV1,NUMBV3, GU002610
+      NHITS1,NHITS3,IGOOD,IFLG,            GU002620
+      'CON1','CON2','SAB1','SAB3')        GU002630
      IF (IGOOD.EQ.1)GOTO 99                  GU002640
      CALL CHECK(NUMBV5(2,II),NUMBV6(2,JJ),NUMBV2,NUMBV3, GU002650

```

```

+      NHITS2,NHITS3,IGOOD,IFLG,                GU002660
+      'CON1','CON2','SAB2','SAB3')           GU002670
      IF (IGOOD.EQ.1)GOTO 99                    GU002680
      CALL CHECK(NUMBV5(2,II),NUMBV6(2,JJ),NUMBV1,NUMBV4, GU002690
+      NHITS1,NHITS4,IGOOD,IFLG,             GU002700
+      'CON1','CON2','SAB1','SAB4')           GU002710
      IF (IGOOD.EQ.1)GOTO 99                    GU002720
      CALL CHECK(NUMBV5(2,II),NUMBV6(2,JJ),NUMBV2,NUMBV4, GU002730
+      NHITS2,NHITS4,IGOOD,IFLG,             GU002740
+      'CON1','CON2','SAB2','SAB4')           GU002750
      IF(IGOOD.EQ.1)GOTO 99                    GU002760
      ENDIF                                     GU002770
    ENDIF                                     GU002780
  ENDIF                                     GU002790

99  IF(IGOOD.EQ.1)THEN                          GU002810
      IF(IDEBUG*ISWIT(3).EQ.1)THEN              GU002820
          CALL GPRINT('HITS',0)                 GU002830
      ENDIF                                     GU002840

C  II and JJ are the indices of the arrays where the converter GU002850
C  numbers are stored that possess corresponding absorbers. GU002860
C  -----GU002910
      IF(ITAG.EQ.1111)THEN                       GU002920
          CMAX1=BITS5(1,II)                     GU002930
          CMAX2=BITS6(1,JJ)                     GU002940
C  GET THE 2 CORRESPONDING ABSORBERS WITH THE MAX ENERGY DEPOSIT GU002950
C  for angle determination                     GU002960
      CALL NUMAX(1,II,NAB1,NMAX1,RMAX1)          GU002970
      CALL NUMAX(2,JJ,NAB2,NMAX2,RMAX2)          GU002980
      CALL GETPOS(NAB1,NMAX1,POS1)              GU002990
      CALL GETPOS(NAB2,NMAX2,POS2)              GU003000
      CALL RELANG(POS1,POS2,ANGPOS)             GU003010
      IF (IDEBUG*ISWIT(7).EQ.1)THEN            GU003020
          WRITE(9,*)'II=',II,'NUMBV5(2,II)=' ,NUMBV5(2,II) GU003030
          WRITE(9,*)'1 ',NAB1=',NAB1','NMAX1=',NMAX1,'RMAX1=',RMAX1 GU003040
          WRITE(9,*)'JJ=',JJ,'NUMBV6(2,JJ)=' ,NUMBV6(2,JJ) GU003050
          WRITE(9,*)'2 ',NAB2=',NAB2','NMAX2=',NMAX2,'RMAX2=',RMAX2 GU003060
      ENDIF                                     GU003070
      CALL GETANG(NUMBV5(2,II),NUMBV6(2,JJ),ANGLE,1111) GU003080
      CALL GEQUAD(NUMBV5(2,II),NUMBV6(2,JJ),RE1,RE2,1111) GU003090
C -----GU003100
      ENDIF                                     GU003110
      IF((ITAG.EQ.1010).OR.(ITAG.EQ.1011))THEN GU003120
          CMAX1=BITS6(1,II)                     GU003130
          CMAX2=BITS6(1,JJ)                     GU003140
C  GET THE 2 CORRESPONDING ABSORBERS WITH THE MAX ENERGY DEPOSIT GU003150
C  for angle determination                     GU003160
      CALL NUMAX(2,II,NAB1,NMAX1,RMAX1)          GU003170

```

```

CALL NUMAX(2,JJ,NAB2,NMAX2,RMAX2)          GU003180
CALL GETPOS(NAB1,NMAX1,POS1)              GU003190
CALL GETPOS(NAB2,NMAX2,POS2)              GU003200
CALL RELANG(POS1,POS2,ANGPOS)             GU003210
IF (IDEBUG*ISWIT(7).EQ.1)THEN            GU003220
  WRITE(9,*)'II=',II,'NUMBV6(2,II)=' ,NUMBV6(2,II)  GU003230
  WRITE(9,*)'1 ',NAB1=',NAB1','NMAX1=',NMAX1,'RMAX1=' ,RMAX1  GU003240
  WRITE(9,*)'JJ=',JJ,'NUMBV6(2,JJ)=' ,NUMBV6(2,JJ)  GU003250
  WRITE(9,*)'2 ',NAB2=',NAB2','NMAX2=',NMAX2,'RMAX2=' ,RMAX2  GU003260
ENDIF                                     GU003270
CALL GETANG(NUMBV6(2,II),NUMBV6(2,JJ),ANGLE,1010)  GU003280
CALL GEQUAD(NUMBV6(2,II),NUMBV6(2,JJ),RE1,RE2,1010)  GU003290
C-----GU003300
  ENDF                                     GU003310
IF ((ITAG.EQ.101).OR.(ITAG.EQ.111)) THEN  GU003320
  CHAX1=BITS5(1,II)                       GU003330
  CHAX2=BITS5(1,JJ)                       GU003340
C   GET THE 2 CORRESPONDING ABSORBERS WITH THE MAX ENERGY DEPOSIT GU003350
C   for angle determination               GU003360
CALL NUMAX(1,II,NAB1,NMAX1,RMAX1)         GU003370
CALL NUMAX(1,JJ,NAB2,NMAX2,RMAX2)         GU003380
CALL GETPOS(NAB1,NMAX1,POS1)              GU003390
CALL GETPOS(NAB2,NMAX2,POS2)              GU003400
CALL RELANG(POS1,POS2,ANGPOS)             GU003410
IF (IDEBUG*ISWIT(7).EQ.1)THEN            GU003420
  WRITE(9,*)'II=',II,'NUMBV5(2,II)=' ,NUMBV5(2,II)  GU003430
  WRITE(9,*)'1 ',NAB1=',NAB1','NMAX1=',NMAX1,'RMAX1=' ,RMAX1  GU003440
  WRITE(9,*)'JJ=',JJ,'NUMBV5(2,JJ)=' ,NUMBV5(2,JJ)  GU003450
  WRITE(9,*)'2 ',NAB2=',NAB2','NMAX2=',NMAX2,'RMAX2=' ,RMAX2  GU003460
ENDIF                                     GU003470
CALL GETANG(NUMBV5(2,II),NUMBV5(2,JJ),ANGLE,101)  GU003480
CALL GEQUAD(NUMBV5(2,II),NUMBV5(2,JJ),RE1,RE2,101)  GU003490
  ENDF                                     GU003500
C   DEBUG ROH DATA:                      GU003510
C   Angle is stored as ANGLE and now available  GU003520
C                                           GU003530
  E1=RE1+CHAX1                             GU003540
  E2=RE2+CHAX2                             GU003550
C                                           GU003560
C-----GU003570
C   select garbage :                      GU003580
  IF(E1*E2.EQ.0)GOTO 7771                  GU003590
C   *** energy cut follows:                GU003600
  CALL ENECUT(E1,E2,IECUT)                  GU003610
  IF(IECUT.EQ.1)GOTO 7771                  GU003620
C   *** asymmetry cut follows:             GU003630
  CALL ASYMCT(E1,E2,IXCUT)                  GU003640

```

```

      IF(IXCUT.EQ.1)GOTO 7771                                GU003650
C-----
C      calculate restmass of pion                            GU003660
C-----
      CALL RESTMA(E1,E2,ANGLE,REST1)                        GU003680
      CALL HFILL(1,REST1*1000.,1.)                          GU003690
      call hfill(33,(1.+COS(3.141592/180.*ANGLE)),REST1*1000.) GU003700
C-----
C      store gamma angle distribution                       GU003710
C-----
      call hfill(35,angle)                                  GU003720
C-----
C      store energy deposit of absorber                    GU003730
C-----
      call hfill(40,RE1*1000.)                              GU003740
      call hfill(40,RE2*1000.)                              GU003750
C-----
C      store energy deposit of converter                   GU003760
C-----
      call hfill(41,CHAX1*1000.)                            GU003770
      call hfill(41,CHAX2*1000.)                            GU003780
C-----
C      calculate pionenergy and impuls:                    GU003790
      call relang(zaxis,totals1,eta1)                       GU003800
      call relang(zaxis,totals2,eta2)                       GU003810
C-----
      call ETAPI0(E1,E2,angle,eta1,eta2,eta)                GU003820
      call hfill(34,eta)                                    GU003830
      call epion(angle,e1,e2,epio,ppio)                     GU003840
      %-----> <-----
      %-----> <-----
      call hfill(31,ppio*1000.)                             GU003850
      call hfill(37,epio*1000.)                             GU003860
C-----
C      CALCULATE EXACT ANGLE FROM INPUT DATA              GU003870
      XX(1)=PX1                                             GU003880
      XX(2)=PY1                                             GU003890
      XX(3)=PZ1                                             GU003900
      YY(1)=PX2                                             GU003910
      YY(2)=PY2                                             GU003920
      YY(3)=PZ2                                             GU003930
      CALL RELANG(XX,YY,ANGINP)                             GU003940
      call epion(anginp,e11,e22,epio,ppio)                  GU003950
      call hfill(32,ppio*1000.)                             GU003960
C-----
C      ANGDIFF=difference between real relative angle of the gammas and GU003970
C      the calculated relative angle                       GU003980

```

```

C          offset of 50 degrees introduced to get positive values   GU004100
C          for the histogramm                                       GU004110
C-----
C          ANGDIFF=ANGINP-ANGLE+50.                                  GU004130
C          CALL HFILL(7,ANGDIFF,1.)                                  GU004140
C-----
C          ANGDEV=difference between angle of the gamma input       GU004160
C          impuls and the shower calculated direction of the gamma GU004170
C-----
C          ANGDEV=0.                                                GU004190
C          AG1=0.                                                    GU004200
C          CALL DEBANG(XX,TOTALS1,TOTALS2,ANGDEV,AG1)               GU004210
C          CALL HFILL(9,ANGDEV,1.)                                   GU004220
C          CALL HFILL(10,ANGDEV,AG1,1.)                             GU004230
C          ANGDEV=0.                                                GU004240
C          AG1=0.                                                    GU004250
C          CALL DEBANG(YY,TOTALS1,TOTALS2,ANGDEV,AG1)               GU004260
C          CALL HFILL(9,ANGDEV,1.)                                   GU004270
C          CALL HFILL(10,ANGDEV,AG1,1.)                             GU004280
C-----
C          ANGDEV=difference between angle of the gamma input       GU004300
C          impuls and the positional calculated direction of the gamma GU004310
C-----
C          ANGDEV=0.                                                GU004330
C          AG1=0.                                                    GU004340
C          CALL DEBANG(XX,POS1,POS2,ANGDEV,AG1)                     GU004350
C          CALL HFILL(23,ANGDEV,1.)                                  GU004360
C          CALL HFILL(24,ANGDEV,AG1,1.)                             GU004370
C          WRITE(*,*) ANGDEV ,AG1                                   GU004380
C          ANGDEV=0.                                                GU004390
C          AG1=0.                                                    GU004400
C          CALL DEBANG(YY,POS1,POS2,ANGDEV,AG1)                     GU004410
C          CALL HFILL(23,ANGDEV,1.)                                  GU004420
C          CALL HFILL(24,ANGDEV,AG1,1.)                             GU004430
C          WRITE(*,*) ANGDEV,AG1                                    GU004440
C-----
C          AGPSDV=difference between the relative angle of the gamma input GU004460
C          impuls vectors and the relative angle between the centers of GU004470
C          the absorbers with the maximum energy deposit of the relevant GU004480
C          absorber quadruples                                       GU004490
C          offset of 50 degrees introduced to get positive values   GU004500
C          for the histogramm                                       GU004510
C-----
C          AGPSDV=ANGINP-ANGPOS+50.                                  GU004520
C          CALL HFILL(12,AGPSDV,1.)                                  GU004530
C          CALL HFILL(8,E11*1000.,1.)                                GU004540
C          CALL HFILL(8,E22*1000.,1.)                                GU004550
C          CALL HFILL(8,E22*1000.,1.)                                GU004560

```

```

CALL HFILL(20,E1*1000.,1.)          GU004570
CALL HFILL(20,E2*1000.,1.)          GU004580
CALL HFILL(11,(E1+E2)*1000.,1.)     GU004590
CALL HFILL(5,E1*1000.,1.)           GU004600
CALL HFILL(6,E2*1000.,1.)           GU004610
C-----) GU004620
C   Calculate with input angle and measured energy deposit rest mass GU004630
C-----) GU004640
CALL RESTMA(E1,E2,ANGINP,REST2)      GU004650
CALL HFILL(2,REST2*1000.,1.)         GU004660
C-----) GU004670
C   Calculate with pos. angle and measured energy deposit rest mass GU004680
C-----) GU004690
CALL RESTMA(E1,E2,ANGPOS,REST3)      GU004700
CALL HFILL(39,REST3*1000.,1.)        GU004710
C-----) GU004720
C   Calculate difference between total energy deposit and input energy GU004730
C-----) GU004740
EIN=E11+E22                          GU004750
C   total energy deposit=ETOT         GU004760
EDIFF=ABS(EIN-ETOT)                   GU004770
CALL HFILL(3,EDIFF*1000.,1.)         GU004780
C-----) GU004790
C   Calculate difference between total energy deposit and energy GU004800
C   deposit as produced by the gammas in the relevant absorbers GU004810
C-----) GU004820
EDIFFF=ETOT-E1-E2                    GU004830
CALL HFILL(4,EDIFFF*1000.,1.)        GU004840
C-----) GU004850
C   Fill energy sampling tracking histograms GU004860
C-----) GU004870
C   transformation in percentual values first GU004880
DEGAH=100.*DEGAH/ETOT                 GU004890
DELEC=100.*DELEC/ETOT                 GU004900
DENEU=100.*DENEU/ETOT                 GU004910
DEHAD=100.*DEHAD/ETOT                 GU004920
DEHUO=100.*DEHUO/ETOT                 GU004930
EBREH=100.*EBREH/ETOT                 GU004940
c   write(*,*)DEGAH,DELEC,DENEU,DEHAD,DEHUO GU004950
CALL HFILL(25,DEGAH,1.)                GU004960
CALL HFILL(26,DELEC,1.)                GU004970
CALL HFILL(27,DENEU,1.)                GU004980
CALL HFILL(28,DEHAD,1.)                GU004990
CALL HFILL(29,DEHUO,1.)                GU005000
CALL HFILL(30,EBREH,1.)                GU005010
C-----) GU005020
C-----) debugging from here on -----) GU005030

```

```

C-----) GU005040
IF(IDEBUG*ISWIT(8).EQ.1) THEN
WRITE(9,*)'-----'
WRITE(9,*)IEVENT,'=EVENTNR'
WRITE(9,*)'E1=',E2,'E2=',E1,'ANGLE=',ANGLE,'RESTH=',REST1
WRITE(9,*)'E1=',E2,'E2=',E1,'AGEXA=',ANGINP,'RESEX=',REST2
WRITE(9,*)'E1-E11=',(E2-E11),'E2-E22=',(E1-E22),'REST2-REST7='
+ ,(REST2-REST7)
CALL RESTHA(E11,E22,ANGINP,REST7)
WRITE(9,*)'EX1=',E11,'EX2=',E22,'RESTMASS-EXACT=',REST7
IF (NHITS1.LT.1) GOTO 7
DO 1 I=1,NHITS1
C WRITE(9,*)'EDEPOSIT ECAL SAB1 = ',BITS1(1,I)
C WRITE(9,*)'VOLUME=',NUMBV1(2,I)
1 CONTINUE
7 IF (NHITS2.LT.1) GOTO 8
DO 2 I=1,NHITS2
C WRITE(9,*)'EDEPOSIT ECAL SAB2 = ',BITS2(1,I)
C WRITE(9,*)'VOLUME=',NUMBV2(2,I)
2 CONTINUE
8 IF (NHITS3.LT.1) GOTO 9
DO 3 I=1,NHITS3
C WRITE(9,*)'EDEPOSIT ECAL SAB3 = ',BITS3(1,I)
C WRITE(9,*)'VOLUME=',NUMBV3(2,I)
3 CONTINUE
9 IF (NHITS4.LT.1) GOTO 10
DO 4 I=1,NHITS4
C WRITE(9,*)'EDEPOSIT ECAL SAB4 = ',BITS4(1,I)
C WRITE(9,*)'VOLUME=',NUMBV4(2,I)
4 CONTINUE
10 IF (NHITS5.LT.1) GOTO 11
DO 5 I=1,NHITS5
C WRITE(9,*)'EDEPOSIT DELE CON1 = ',BITS5(1,I)
C WRITE(9,*)'VOLUME=',NUMBV5(2,I)
5 CONTINUE
11 IF (NHITS6.LT.1) GOTO 12
DO 6 I=1,NHITS6
C WRITE(9,*)'EDEPOSIT DELE CON2 = ',BITS6(1,I)
CC WRITE(9,*)'VOLUME=',NUMBV6(2,I)
6 CONTINUE
12 CONTINUE
ENDIF
IF(IDEBUG*ISWIT(3).EQ.1) THEN
C CALL GPRINT('HITS',0)
ENDIF
IF(IDEBUG*ISWIT(1).EQ.1) THEN
CALL GDSHOW(1)
GU005050
GU005055
GU005060
GU005070
GU005080
GU005090
GU005100
GU005110
GU005120
GU005130
GU005140
GU005150
GU005160
GU005170
GU005180
GU005190
GU005200
GU005210
GU005220
GU005230
GU005240
GU005250
GU005260
GU005270
GU005280
GU005290
GU005300
GU005310
GU005320
GU005330
GU005340
GU005350
GU005360
GU005370
GU005380
GU005390
GU005400
GU005410
GU005420
GU005430
GU005440
GU005450
GU005460
GU005470
GU005480
GU005490
GU005500

```

```

        CALL GDXYZ(0)
        OR=10.
C-----debug angle determination grafically -----
        UUU(1)=OR
        UUU(2)=TOTALS1(1)*10+OR
        VVV(1)=OR
        VVV(2)=TOTALS1(3)*10+OR
        CALL GDRAWV(VVV,UUU,2)
        UUU(1)=OR
        UUU(2)=TOTALS2(1)*10+OR
        VVV(1)=OR
        VVV(2)=TOTALS2(3)*10+OR
        CALL GDRAWV(VVV,UUU,2)
C-----
        CALL GDLW(5)
        CALL GDCOL(4)
        UUU(2)=POS1(1)*10+OR
        VVV(1)=OR
        VVV(2)=POS1(3)*10+OR
        CALL GDRAWV(VVV,UUU,2)
        UUU(1)=OR
        UUU(2)=POS2(1)*10+OR
        VVV(1)=OR
        VVV(2)=POS2(3)*10+OR
        CALL GDRAWV(VVV,UUU,2)
C-----
        CALL TVNEXT(0)
        CALL GDSHOW(2)
        CALL GDXYZ(0)
        CALL TVNEXT(0)
        CALL GDSHOW(3)
        CALL GDXYZ(0)
        CALL TVNEXT(0)
        ENDIF
C**** END OF SAVING GOOD EVENT****
7771  ENDIF
        LLL=LLL+1
        IF (LLL.GT.1000)THEN
%----->          <-----
%----->          <-----
        IH=IH+1
        WRITE(*,*) LLL*IH
        LLL=0
        ENDIF
        ETOT=0
        IF (IDEBUG*ISWIT(7).EQ.1)THEN
        WRITE(9,*)'-----

```

GU005510
 GU005520
 GU005530
 GU005540
 GU005550
 GU005560
 GU005570
 GU005580
 GU005590
 GU005600
 GU005610
 GU005620
 GU005630
 GU005640
 GU005650
 GU005660
 GU005670
 GU005680
 GU005690
 GU005700
 GU005710
 GU005720
 GU005730
 GU005740
 GU005750
 GU005760
 GU005770
 GU005780
 GU005790
 GU005800
 GU005810
 GU005820
 GU005830
 GU005840
 GU005850
 GU005860
 GU005870
 GU005880
 GU005890
 GU005900
 GU005910
 GU005920
 GU005930
 GU005940
 GU005950

```

WRITE(*,*)'-----' GU005960
ENDIF GU005970
END GU005980
SUBROUTINE CHECK(CONV1,CONV2,NSAB1,NSAB2,IHITS1,IHITS2,IGOOD,IFLG, GU005990
+      WACO1,WACO2,NSA1,NSA2) GU006000
C*****GU006010
C LOOKS IF CONV1 AND CONV2 POSESS RELEVANT ABSORBERS SAB1,SAB2 GU006020
C BEHIND THEM.IF THIS IS SO IGOOD BECOMES 1. GU006030
C IFLG FOR LATER USE ;NOT YET IMPLANTED GU006040
C GU006050
C CHECK called by GUOUT GU006060
C*****GU006070
PARAMETER (NHX=400,NV=2) GU006080
DIMENSION NSAB1(NV,NHX),NSAB2(NV,NHX) GU006090
CHARACTER*4 WACO1,WACO2,NSA1,NSA2 GU006100
INTEGER IFLG,IGOOD,CONV1,CONV2 GU006110
DO 10 I=1,IHITS1 GU006120
IF((CONV1*2.EQ.NSAB1(2,I))
+ .OR.(CONV1*2-1.EQ.NSAB1(2,I))) THEN GU006130
DO 11 J=1,IHITS2 GU006140
IF((CONV2*2.EQ.NSAB2(2,J))
+ .OR.(CONV2*2-1.EQ.NSAB2(2,J))) THEN GU006150
C WRITE(*,*)WACO1,CONV1,WACO2,CONV2 GU006160
C WRITE(*,*)NSA1,NSAB1(2,I),NSA2,NSAB2(2,J) GU006170
IGOOD=1 GU006180
ENDIF GU006190
11 CONTINUE GU006200
ENDIF GU006210
10 CONTINUE GU006220
END GU006230
SUBROUTINE NUMAX(ISLECT,III,WAB,NHAX,RHAX) GU006240
C*****GU006250
C FUNCTION: Get the absorber behind hitted converter with maximum GU006260
C energy deposit GU006270
C INPUT PARMS: ISLECT-select CONV1 ring or CONV2 ring (=1,2) GU006280
C III -SELECET CONVERTER NUMBER( NUMBV?(II)=1..5) GU006290
C OUPUT PARMS: WAB -absorber ring number (=1..4) GU006300
C NHAX -absorber number(=1..10) GU006310
C RHAX -energy deposit in absorber NHAX (of quadruple GU006320
C behind converter II) of ring WAB. GU006330
C NUMAX called by GUOUT GU006340
C*****GU006350
PARAMETER (NHX=400,NV=2,NH=1) GU006360
COMMON/ABSORB/ NUMBV1(NV,NHX),NUMBV2(NV,NHX),NUMBV3(NV,NHX), GU006370
+ NUMBV4(NV,NHX),NUMBV5(NV,NHX),NUMBV6(NV,NHX), GU006380
+ BITS1(NH,NHX),BITS2(NH,NHX),BITS3(NH,NHX), GU006390
+ BITS4(NH,NHX),BITS5(NH,NHX),BITS6(NH,NHX), GU006400

```

| | | |
|---|---|----------|
| + | NHITS1,NHITS2,NHITS3,NHITS4,NHITS5,NHITS6 | GU006430 |
| | ITEMP=0 | GU006440 |
| | RMAX=0. | GU006450 |
| | IF(ISLECT.EQ.2)THEN | GU006460 |
| | CALL GETIND(3,K1,NUMBV6(2,III)*2) | GU006470 |
| | CALL GETIND(3,K2,NUMBV6(2,III)*2-1) | GU006480 |
| | IF(K1+K2.EQ.0) THEN | GU006490 |
| | ITEMP=1 | GU006500 |
| | GOTO 2 | GU006510 |
| | ENDIF | GU006520 |
| | IF(K1.EQ.0) THEN | GU006530 |
| | NAB=3 | GU006540 |
| | NMAX=NUMBV3(2,K2) | GU006550 |
| | RMAX=BITS3(1,K2) | GU006560 |
| | GOTO 2 | GU006570 |
| | ENDIF | GU006580 |
| | IF(K2.EQ.0) THEN | GU006590 |
| | NAB=3 | GU006600 |
| | NMAX=NUMBV3(2,K1) | GU006610 |
| | RMAX=BITS3(1,K1) | GU006620 |
| | GOTO 2 | GU006630 |
| | ENDIF | GU006640 |
| | IF(BITS3(1,K1).GT.BITS3(1,K2))THEN | GU006650 |
| | NAB=3 | GU006660 |
| | NMAX=NUMBV3(2,K1) | GU006670 |
| | RMAX=BITS3(1,K1) | GU006680 |
| | ELSE | GU006690 |
| | NAB=3 | GU006700 |
| | NMAX=NUMBV3(2,K2) | GU006710 |
| | RMAX=BITS3(1,K2) | GU006720 |
| | ENDIF | GU006730 |
| 2 | CALL GETIND(4,K1,NUMBV6(2,III)*2) | GU006740 |
| | CALL GETIND(4,K2,NUMBV6(2,III)*2-1) | GU006750 |
| | IF(K1+K2.EQ.0) THEN | GU006760 |
| | IF(ITEMP.EQ.1)THEN | GU006770 |
| | IGOOD=0 | GU006780 |
| | WRITE(9,*)' **** BAD EVENT ****' | GU006790 |
| | ENDIF | GU006800 |
| | GOTO 3 | GU006810 |
| | ENDIF | GU006820 |
| | IF(K1.EQ.0) GOTO 4 | GU006830 |
| | IF(BITS4(1,K1).GT.RMAX)THEN | GU006840 |
| | NAB=4 | GU006850 |
| | NMAX=NUMBV4(2,K1) | GU006860 |
| | RMAX=BITS4(1,K1) | GU006870 |
| | ENDIF | GU006880 |
| | IF(K2.EQ.0) GOTO 3 | GU006890 |

```

4   IF(BITS4(1,K2).GT.RMAX)THEN                                GU006900
      NAB=4                                                    GU006910
      NMAX=NUMBV4(2,K2)                                        GU006920
      RMAX=BITS4(1,K2)                                        GU006930
    ENDIF                                                      GU006940
3   CONTINUE                                                  GU006950
    ENDIF                                                      GU006960
C*****GU006970
    IF(ISLECT.EQ.1)THEN                                       GU006980
      ITEMP=0                                                 GU006990
      CALL GETIND(1,K1,NUMBV5(2,III)*2)                       GU007000
      CALL GETIND(1,K2,NUMBV5(2,III)*2-1)                   GU007010
      IF(K1+K2.EQ.0) THEN                                     GU007020
        ITEMP=1                                             GU007030
        GOTO 5                                              GU007040
      ENDIF                                                  GU007050
      IF(K1.EQ.0 )THEN                                       GU007060
        NAB=1                                               GU007070
        NMAX=NUMBV1(2,K2)                                   GU007080
        RMAX=BITS1(1,K2)                                   GU007090
        GOTO 5                                              GU007100
      ENDIF                                                  GU007110
      IF(K2.EQ.0 )THEN                                       GU007120
        NAB=1                                               GU007130
        NMAX=NUMBV1(2,K1)                                   GU007140
        RMAX=BITS1(1,K1)                                   GU007150
        GOTO 5                                              GU007160
      ENDIF                                                  GU007170
      IF(BITS1(1,K1).GT.BITS1(1,K2))THEN                     GU007180
        NAB=1                                               GU007190
        NMAX=NUMBV1(2,K1)                                   GU007200
        RMAX=BITS1(1,K1)                                   GU007210
      ELSE                                                    GU007220
        NAB=1                                               GU007230
        NMAX=NUMBV1(2,K2)                                   GU007240
        RMAX=BITS1(1,K2)                                   GU007250
      ENDIF                                                  GU007260
5   CALL GETIND(2,K1,NUMBV5(2,III)*2)                       GU007270
      CALL GETIND(2,K2,NUMBV5(2,III)*2-1)                   GU007280
      IF(K1+K2.EQ.0) THEN                                     GU007290
        IF(ITEMP.EQ.1)THEN                                   GU007300
          C
            WRITE(9,*)' **** BAD EVENT ***'                 GU007310
            IGOOD=0                                         GU007320
          ENDIF                                             GU007330
          GOTO 6                                           GU007340
        ENDIF                                             GU007350
      IF(K1.EQ.0 )GOTO 7                                     GU007360

```



```

ENDIF                                                    GU007820
IF(I.EQ.4)THEN                                          GU007830
  DO 4 J=1,NHITS4                                       GU007840
    IF(NUMBV4(2,J).EQ.IHILF)K=J                         GU007850
4  CONTINUE                                             GU007860
ENDIF                                                  GU007870
END                                                    GU007880

SUBROUTINE GETANG(NCON1,NCON2,ANGLE,ITAG)              GU007890
C=====                                              GU007900
C  NCON1/2=Z.B. NUMBV5(2,II)                            GU007910
C  ANGLE = angle between the two gammas                 GU007920
C  ITAG =S.0.                                           GU007930
C  FUNCTION: calculation of ANGLE                       GU007940
C  TOTALSi=center of mass(i.e. energy) vector of gamma i GU007950
C  REi=summation of energy deposited in the absorbers by GU007960
C  gamma i                                             GU007970
C=====                                              GU007980
C  PARAMETER (NHX=400,NV=2,NH=1)                        GU007990
C  COMMON/TOTAL/TOTALS1(3),TOTALS2(3)                  GU008000
C  COMMON/GCFLAG/IDEBUG,IDEHIN,IDEMAX,ITEST,IDRUN,IDEVT,IEORUN GU008010
C  + ,IEOTRI,IEVENT,ISWIT(10),IFINIT(20),NEVENT,NRNDH(2) GU008020
C  COMMON/ABSORB/ NUMBV1(NV,NHX),NUMBV2(NV,NHX),NUMBV3(NV,NHX), GU008030
C  + NUMBV4(NV,NHX),NUMBV5(NV,NHX),NUMBV6(NV,NHX),      GU008040
C  + BITS1(NH,NHX),BITS2(NH,NHX),BITS3(NH,NHX),        GU008050
C  + BITS4(NH,NHX),BITS5(NH,NHX),BITS6(NH,NHX),        GU008060
C  + NHITS1,NHITS2,NHITS3,NHITS4,NHITS5,NHITS6          GU008070
C  REAL*4 XSV(3)                                         GU008080
C-----                                              GU008090
C  1.ConverterII : NAB1= Ringindex der den Absorber mit der GU008100
C  Nummer NMAX1 enthaelt in dem die Enrgie             GU008110
C  RHA1 deponiert wurde                                GU008120
C  +                                                    GU008130
C  reset center of energy vec. and energy sum:         GU008140
C  DO 1 I=1,3                                           GU008150
C  XSV(I)=0.                                             GU008160
C  TOTALS1(I)=0.                                        GU008170
1  TOTALS2(I)=0.                                        GU008180
C  RE1=0.                                               GU008190
C  RE2=0.                                               GU008200
C  Absorbernummern:                                    GU008210
C  NADD1=NCON1*2                                        GU008220
C  NADD2=NADD1-1                                        GU008230
C  IF((ITAG.EQ.1111).OR.(ITAG.EQ.101))THEN            GU008240
C  NAB1=1                                               GU008250
C  NAB2=2                                               GU008260
C  ENDIF                                                GU008270
C  IF(ITAG.EQ.1010)THEN                                GU008280

```

| | |
|--|----------|
| NAB1=3 | GU008290 |
| NAB2=4 | GU008300 |
| ENDIF | GU008310 |
| CALL GETIND(NAB1,INADD1,NADD1) | GU008320 |
| CALL GETIND(NAB1,INADD2,NADD2) | GU008330 |
| CALL GETIND(NAB2,INADD3,NADD1) | GU008340 |
| CALL GETIND(NAB2,INADD4,NADD2) | GU008350 |
| C ADD energy and calculate totals1: | GU008360 |
| C----- | GU008370 |
| IF((ITAG.EQ.1111).OR.(ITAG.EQ.101))THEN | GU008380 |
| IF(INADD1.NE.O)THEN | GU008390 |
| RE1=RE1+BITS1(1,INADD1) | GU008400 |
| CALL GETPOS(NAB1,NADD1,XSV) | GU008410 |
| CALL MULADD(XSV,TOTALS1,BITS1(1,INADD1)) | GU008420 |
| ENDIF | GU008430 |
| IF(INADD2.NE.O)THEN | GU008440 |
| RE1=RE1+BITS1(1,INADD2) | GU008450 |
| CALL GETPOS(NAB1,NADD2,XSV) | GU008460 |
| CALL MULADD(XSV,TOTALS1,BITS1(1,INADD2)) | GU008470 |
| ENDIF | GU008480 |
| IF(INADD3.NE.O)THEN | GU008490 |
| RE1=RE1+BITS2(1,INADD3) | GU008500 |
| CALL GETPOS(NAB2,NADD1,XSV) | GU008510 |
| CALL MULADD(XSV,TOTALS1,BITS2(1,INADD3)) | GU008520 |
| ENDIF | GU008530 |
| IF(INADD4.NE.O)THEN | GU008540 |
| RE1=RE1+BITS2(1,INADD4) | GU008550 |
| CALL GETPOS(NAB2,NADD2,XSV) | GU008560 |
| CALL MULADD(XSV,TOTALS1,BITS2(1,INADD4)) | GU008570 |
| ENDIF | GU008580 |
| ENDIF | GU008590 |
| C----- | GU008600 |
| IF(ITAG.EQ.1010)THEN | GU008610 |
| IF(INADD1.NE.O)THEN | GU008620 |
| RE1=RE1+BITS3(1,INADD1) | GU008630 |
| CALL GETPOS(NAB1,NADD1,XSV) | GU008640 |
| CALL MULADD(XSV,TOTALS1,BITS3(1,INADD1)) | GU008650 |
| ENDIF | GU008660 |
| IF(INADD2.NE.O)THEN | GU008670 |
| RE1=RE1+BITS3(1,INADD2) | GU008680 |
| CALL GETPOS(NAB1,NADD2,XSV) | GU008690 |
| CALL MULADD(XSV,TOTALS1,BITS3(1,INADD2)) | GU008700 |
| ENDIF | GU008710 |
| IF(INADD3.NE.O)THEN | GU008720 |
| RE1=RE1+BITS4(1,INADD3) | GU008730 |
| CALL GETPOS(NAB2,NADD1,XSV) | GU008740 |
| CALL MULADD(XSV,TOTALS1,BITS4(1,INADD3)) | GU008750 |

| | |
|---|----------|
| ENDIF | GU008760 |
| IF(INADD4.NE.0)THEN | GU008770 |
| RE1=RE1+BITS4(1,INADD4) | GU008780 |
| CALL GETPOS(NAB2,NADD2,XSV) | GU008790 |
| CALL MULADD(XSV,TOTALS1,BITS4(1,INADD4)) | GU008800 |
| ENDIF | GU008810 |
| ENDIF | GU008820 |
| C----- | GU008830 |
| C----- | GU008840 |
| C dito fuer converter JJ : | GU008850 |
| C | GU008860 |
| C Absorbernummern: | GU008870 |
| NADD1=NCON2*2 | GU008880 |
| NADD2=NADD1-1 | GU008890 |
| IF((ITAG.EQ.1111).OR.(ITAG.EQ.1010))THEN | GU008900 |
| NAB1=3 | GU008910 |
| NAB2=4 | GU008920 |
| ENDIF | GU008930 |
| IF(ITAG.EQ.101)THEN | GU008940 |
| NAB1=1 | GU008950 |
| NAB2=2 | GU008960 |
| ENDIF | GU008970 |
| C Position der Absorbernummer in den Arrays: | GU008980 |
| CALL GETIND(NAB1,INADD1,NADD1) | GU008990 |
| CALL GETIND(NAB1,INADD2,NADD2) | GU009000 |
| CALL GETIND(NAB2,INADD3,NADD1) | GU009010 |
| CALL GETIND(NAB2,INADD4,NADD2) | GU009020 |
| C ADD energy: | GU009030 |
| C----- | GU009040 |
| IF(ITAG.EQ.101)THEN | GU009050 |
| IF(INADD1.NE.0)THEN | GU009060 |
| RE2=RE2+BITS1(1,INADD1) | GU009070 |
| CALL GETPOS(NAB1,NADD1,XSV) | GU009080 |
| CALL MULADD(XSV,TOTALS2,BITS1(1,INADD1)) | GU009090 |
| ENDIF | GU009100 |
| IF(INADD2.NE.0)THEN | GU009110 |
| RE2=RE2+BITS1(1,INADD2) | GU009120 |
| CALL GETPOS(NAB1,NADD2,XSV) | GU009130 |
| CALL MULADD(XSV,TOTALS2,BITS1(1,INADD2)) | GU009140 |
| ENDIF | GU009150 |
| IF(INADD3.NE.0)THEN | GU009160 |
| RE2=RE2+BITS2(1,INADD3) | GU009170 |
| CALL GETPOS(NAB2,NADD1,XSV) | GU009180 |
| CALL MULADD(XSV,TOTALS2,BITS2(1,INADD3)) | GU009190 |
| ENDIF | GU009200 |
| IF(INADD4.NE.0)THEN | GU009210 |
| RE2=RE2+BITS2(1,INADD4) | GU009220 |

```

        CALL GETPOS(NAB2,NADD2,XSV)                                GU009230
        CALL MULADD(XSV,TOTALS2,BITS2(1,INADD4))                GU009240
        ENDIF                                                    GU009250
    ENDIF                                                        GU009260
C-----                                                        GU009270
    IF((ITAG.EQ.1010).OR.(ITAG.EQ.1111))THEN                    GU009280
C    WRITE(*,*)'----- ITAG ',ITAG , '-----'                GU009290
        IF(INADD1.NE.0)THEN                                      GU009300
            RE2=RE2+BITS3(1,INADD1)                            GU009310
            CALL GETPOS(NAB1,NADD1,XSV)                        GU009320
            CALL MULADD(XSV,TOTALS2,BITS3(1,INADD1))          GU009330
C    WRITE(*,*)'BITS3(1INADD1)=BITS3(1,' ,INADD1,')=' ,BITS3(1,INADD1) GU009340
            ENDIF                                              GU009350
            IF(INADD2.NE.0)THEN                                  GU009360
                RE2=RE2+BITS3(1,INADD2)                        GU009370
                CALL GETPOS(NAB1,NADD2,XSV)                    GU009380
                CALL MULADD(XSV,TOTALS2,BITS3(1,INADD2))      GU009390
C    WRITE(*,*)'BITS3(1INADD2)=BITS3(1,' ,INADD2,')=' ,BITS3(1,INADD2) GU009400
                ENDIF                                          GU009410
                IF(INADD3.NE.0)THEN                              GU009420
                    RE2=RE2+BITS4(1,INADD3)                    GU009430
                    CALL GETPOS(NAB2,NADD1,XSV)                GU009440
                    CALL MULADD(XSV,TOTALS2,BITS4(1,INADD3))  GU009450
C    WRITE(*,*)'BITS4(1INADD3)=BITS4(1,' ,INADD3,')=' ,BITS4(1,INADD3) GU009460
                    ENDIF                                      GU009470
                    IF(INADD4.NE.0)THEN                          GU009480
                        RE2=RE2+BITS4(1,INADD4)                GU009490
                        CALL GETPOS(NAB2,NADD2,XSV)            GU009500
                        CALL MULADD(XSV,TOTALS2,BITS4(1,INADD4)) GU009510
C    WRITE(*,*)'BITS4(1INADD4)=BITS4(1,' ,INADD4,')=' ,BITS4(1,INADD4) GU009520
                        ENDIF                                  GU009530
                    ENDIF                                      GU009540
                ENDIF                                          GU009550
            ENDIF                                              GU009560
        DO 2 I=1,3                                              GU009570
            TOTALS1(I)=TOTALS1(I)/RE1                            GU009580
        2    TOTALS2(I)=TOTALS2(I)/RE2                            GU009590
C    calculate angle:                                          GU009600
        CALL RELANG(TOTALS1,TOTALS2,ANGLE)                      GU009610
        END                                                      GU009620

        SUBROUTINE MULADD(XS,X,S)                                GU009630
C=====                                                        GU009640
C    FUNCTION: CALCULATE X=XS+X*S                                GU009650
C=====                                                        GU009660
        DIMENSION X(3),XS(3)                                    GU009670
        DO 1 I=1,3                                              GU009680
        1    X(I)=X(I)+XS(I)*S                                    GU009690

```

```

                                <-----
%----->
                                <-----
%----->
                                <-----
SUBROUTINE GETPOS(IRNGID,IABSID,X)
C=====
C   IRNGID=  ring id
C   IABSID=  absorber id
C   X=      coordinates of middlepoint of absorber IABSID in
C           ring IRNGID
C   FUNCTION: calculation of X
C=====
PARAMETER(OPANG=42.5)
DIMENSION X(3)
OFFSET=(OPANG+15)/2.
IF (IRNGID.GT.2) OFFSET=180.+(17.5+15.)/2.
THETA=(OFFSET+(IABSID-1)*15.)*3.141592/180.
X(1)=22.5*SIN(THETA)
X(3)=22.5*COS(THETA)
SIGNUM=-1.
IF((IRNGID.EQ.2).OR.(IRNGID.EQ.4))SIGNUM=1.
X(2)=SIGNUM*5.
END
SUBROUTINE RESTHA(E1,E2,ANGLE,HREST)
C*****
C   BETSIMMUNG DER RUHEMASSE DES PINULLS
C
C*****
REAL HREST,E1,E2,ANGLE
HREST=SQRT(2*E1*E2*(1-COS(ANGLE*3.141592/180.)))
END
SUBROUTINE GEQUAD(NCON1,NCON2,RE1,RE2,ITAG)
C=====
C   NCON1/2=Z.B. NUMBV5(2,II)
C   RE1/2 = ENRGIESUMME HINTER CONV1/2
C   ITAG =S.O.
C   FONCTION: BESTIMMUNG VON RE1/2
C=====
PARAMETER (NHX=400,NV=2,NH=1)
COMMON/GCFLAG/IDEBU, IDEMI, IDEHAX, ITEST, IDRUM, IDEVT, IEDRUM
+ , IEOTRI, IEVENT, ISWIT(10), IFINIT(20), NEVENT, NRNDH(2)
COMMON/ABSORB/ NUMBV1(NV,NHX),NUMBV2(NV,NHX),NUMBV3(NV,NHX),
+ NUMBV4(NV,NHX),NUMBV5(NV,NHX),NUMBV6(NV,NHX),
+ BITS1(NH,NHX),BITS2(NH,NHX),BITS3(NH,NHX),
+ BITS4(NH,NHX),BITS5(NH,NHX),BITS6(NH,NHX),
+ NHITS1,NHITS2,NHITS3,NHITS4,NHITS5,NHITS6
CHARACTER*4 CID(2)
INTEGER NCID(2)

```

GU009700

GU009710

GU009720

GU009730

GU009740

GU009750

GU009760

GU009770

GU009780

GU009790

GU009800

GU009810

GU009820

GU009830

GU009840

GU009850

GU009860

GU009870

GU009880

GU009890

GU009900

GU009910

GU009920

GU009930

GU009940

GU009950

GU009960

GU009970

GU009980

GU009990

GU010000

GU010010

GU010020

GU010030

GU010040

GU010050

GU010060

GU010070

GU010080

GU010090

GU010100

GU010110

GU010120

GU010130

GU010140

```

C-----GU010150
C set scale and origin for graphigs debug          GU010160
C-----GU010170
      UO=10.                                       GU010180
      VO=10.                                       GU010190
      SU=.3                                        GU010200
      VU=.3                                        GU010210
C-----GU010220
C bit pattern philosophy :                        GU010230
C                                               GU010240
C                                               GU010250
C          I
C ITAG      -->  NCON1 I NCON2 I          ITAGCOMBI      -> NCON1/2GU010260
C-----GU010270
C 1111          5 ^ 6 I 1111 v 101 v 111 -> NCON1=5GU010280
C 1010 v 1011    6 ^ 6 I -> 1111 v 1010 v 1011 -> NCON2=6GU010290
C 101 v 111      5 ^ 5 I                                     GU010300
C                                               I (not correct) GU010310
C-----GU010320
C 1.ConverterII : NAB1= Ringindex der den Absorber mit der GU010330
C                               Nummer NMAX1 enthaelt in dem die Energie GU010340
C                               RMA1 deponiert wurde GU010350
C Absorbernummern: GU010360
C                               GU010370
      NADD1=NCON1*2 GU010380
      NADD2=NADD1-1 GU010390
      IF((ITAG.EQ.1111).OR.(ITAG.EQ.101))THEN GU010400
        NAB1=1 GU010410
        NAB2=2 GU010420
C*****  GRAFICS DEBUG ***** GU010430
      IF(IDEBUG*ISWIT(5).EQ.1) THEN GU010440
        CID(1)='HALL' GU010450
        CID(2)='CON1' GU010460
        NCID(2)=NCON1 GU010470
        NCID(1)=1 GU010480
        CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU) GU010490
        CID(1)='HALL' GU010500
        CID(2)='SAB1' GU010510
        NCID(1)=1 GU010520
        NCID(2)=NADD1 GU010530
        CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU) GU010540
        CID(2)='SAB1' GU010550
        NCID(2)=NADD2 GU010560
        CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU) GU010570
        CID(2)='SAB2' GU010580
        NCID(2)=NADD1 GU010590
        CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU) GU010600
        CID(2)='SAB2' GU010610

```

```

        NCID(2)=NADD2
        CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)
        CALL GDXYZ(0)
        CALL GDPART(1,10,.25)
    ENDIF
C*****  GRAFICS DEBUG *****
    ENDIF
    IF(ITAG.EQ.1010)THEN
        NAB1=3
        NAB2=4
C*****  GRAFICS DEBUG *****
        IF(IDEBUG*ISWIT(5).EQ.1) THEN
            CID(1)='HALL'
            CID(2)='CON2'
            NCID(1)=1
            NCID(2)=NCON1
            CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)
            CID(1)='HALL'
            CID(2)='SAB3'
            NCID(1)=1
            NCID(2)=NADD1
            CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)
            CID(2)='SAB3'
            NCID(2)=NADD2
            CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)
            CID(2)='SAB4'
            NCID(2)=NADD1
            CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)
            CID(2)='SAB4'
            NCID(2)=NADD2
            CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)
            CALL GDXYZ(0)
            CALL GDPART(1,10,.25)
        ENDIF
C*****  GRAFICS DEBUG *****
    ENDIF
    CALL GETIND(NAB1,INADD1,NADD1)
    CALL GETIND(NAB1,INADD2,NADD2)
    CALL GETIND(NAB2,INADD3,NADD1)
    CALL GETIND(NAB2,INADD4,NADD2)
C
    ADD energy:
    RE1=0
    IF((ITAG.EQ.1111).OR.(ITAG.EQ.101))THEN
        IF(INADD1.NE.0)RE1=BITS1(1,INADD1)
        IF(INADD2.NE.0)RE1=RE1+BITS1(1,INADD2)
        IF(INADD3.NE.0)RE1=RE1+BITS2(1,INADD3)
        IF(INADD4.NE.0)RE1=RE1+BITS2(1,INADD4)

```

```

GU010620
GU010630
GU010640
GU010650
GU010660
GU010670
GU010680
GU010690
GU010700
GU010710
GU010720
GU010730
GU010740
GU010750
GU010760
GU010770
GU010780
GU010790
GU010800
GU010810
GU010820
GU010830
GU010840
GU010850
GU010860
GU010870
GU010880
GU010890
GU010900
GU010910
GU010920
GU010930
GU010940
GU010950
GU010960
GU010970
GU010980
GU010990
GU011000
GU011010
GU011020
GU011030
GU011040
GU011050
GU011060
GU011070
GU011080

```

```

ENDIF
IF(ITAG.EQ.1010)THEN
  IF(INADD1.NE.0)RE1=BITS3(1,INADD1)
  IF(INADD2.NE.0)RE1=RE1+BITS3(1,INADD2)
  IF(INADD3.NE.0)RE1=RE1+BITS4(1,INADD3)
  IF(INADD4.NE.0)RE1=RE1+BITS4(1,INADD4)
ENDIF
C
C      dito fuer converter JJ :
C
C      Absorbernummern:
WADD1=NCON2*2
WADD2=WADD1-1
IF((ITAG.EQ.1111).OR.(ITAG.EQ.1010))THEN
  NAB1=3
  NAB2=4
C*****  GRAFICS DEBUG *****
IF(IDEBUG*ISWIT(5).EQ.1) THEN
  CID(1)='HALL'
  CID(2)='CON2'
  NCID(1)=1
  NCID(2)=NCON2
  CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)
  CID(1)='HALL'
  CID(2)='SAB3'
  NCID(1)=1
  NCID(2)=WADD1
  CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)
  CID(2)='SAB3'
  NCID(2)=WADD2
  CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)
  CID(2)='SAB4'
  NCID(2)=WADD1
  CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)
  CID(2)='SAB4'
  NCID(2)=WADD2
  CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)
  CALL GDXYZ(0)
  CALL GDPART(1,10,.25)
ENDIF
C*****  GRAFICS DEBUG *****
ENDIF
IF((ITAG.EQ.101).OR.(ITAG.EQ.111))THEN
  NAB1=1
  NAB2=2
C*****  GRAFICS DEBUG *****
IF(IDEBUG*ISWIT(5).EQ.1) THEN

```

```

GU011090
GU011100
GU011110
GU011120
GU011130
GU011140
GU011150
GU011160
GU011170
GU011180
GU011190
GU011200
GU011210
GU011220
GU011230
GU011240
GU011250
GU011260
GU011270
GU011280
GU011290
GU011300
GU011310
GU011320
GU011330
GU011340
GU011350
GU011360
GU011370
GU011380
GU011390
GU011400
GU011410
GU011420
GU011430
GU011440
GU011450
GU011460
GU011470
GU011480
GU011490
GU011500
GU011510
GU011520
GU011530
GU011540
GU011550

```

| | |
|--|----------|
| CID(1)='HALL' | GU011560 |
| CID(2)='CON1' | GU011570 |
| NCID(1)=1 | GU011580 |
| NCID(2)=NCON2 | GU011590 |
| CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU) | GU011600 |
| CID(1)='HALL' | GU011610 |
| CID(2)='SAB1' | GU011620 |
| NCID(1)=1 | GU011630 |
| NCID(2)=NADD1 | GU011640 |
| CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU) | GU011650 |
| CID(2)='SAB1' | GU011660 |
| NCID(2)=NADD2 | GU011670 |
| CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU) | GU011680 |
| CID(2)='SAB2' | GU011690 |
| NCID(2)=NADD1 | GU011700 |
| CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU) | GU011710 |
| CID(2)='SAB2' | GU011720 |
| NCID(2)=NADD2 | GU011730 |
| CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU) | GU011740 |
| CALL GDXYZ(0) | GU011750 |
| CALL GDPART(1,10,.25) | GU011760 |
| ENDIF | GU011770 |
| C***** GRAFICS DEBUG ***** | GU011780 |
| ENDIF | GU011790 |
| IF(IDEBUG*ISWIT(5).EQ.1) THEN | GU011800 |
| CALL TVNEXT(0) | GU011810 |
| ENDIF | GU011820 |
| C Position der Absorbernummer in den Arrays: | GU011830 |
| CALL GETIND(NAB1,INADD1,NADD1) | GU011840 |
| CALL GETIND(NAB1,INADD2,NADD2) | GU011850 |
| CALL GETIND(NAB2,INADD3,NADD1) | GU011860 |
| CALL GETIND(NAB2,INADD4,NADD2) | GU011870 |
| C ADD energy: | GU011880 |
| RE2=0 | GU011890 |
| IF(ITAG.EQ.101)THEN | GU011900 |
| IF(INADD1.NE.0)RE2=BITS1(1,INADD1) | GU011910 |
| IF(INADD2.NE.0)RE2=RE2+BITS1(1,INADD2) | GU011920 |
| IF(INADD3.NE.0)RE2=RE2+BITS2(1,INADD3) | GU011930 |
| IF(INADD4.NE.0)RE2=RE2+BITS2(1,INADD4) | GU011940 |
| ENDIF | GU011950 |
| IF((ITAG.EQ.1010).OR.(ITAG.EQ.1111))THEN | GU011960 |
| IF(INADD1.NE.0)RE2=BITS3(1,INADD1) | GU011970 |
| IF(INADD2.NE.0)RE2=RE2+BITS3(1,INADD2) | GU011980 |
| IF(INADD3.NE.0)RE2=RE2+BITS4(1,INADD3) | GU011990 |
| IF(INADD4.NE.0)RE2=RE2+BITS4(1,INADD4) | GU012000 |
| ENDIF | GU012010 |
| C | GU012020 |

```

      END                                                    GU012030
      SUBROUTINE ENECUT(E1,E2,IECUT)                          GU012040
C=====                                                    GU012050
C   Function: perform energy cuts on calculated gamma energies  GU012060
C   INPUT PARMS: E1,E2,CUTHIN,CUTHAX                       GU012070
C               ICUTYP = 12 -> (IECUT=0 <-> CUTHIN<E1,E2>CUTHAX ) GU012080
C               ICUTYP = 1  -> (IECUT=0 <-> CUTHIN<E1>CUTHAX   ) GU012090
C               ICUTYP = 2  -> (IECUT=0 <-> CUTHIN<E2>CUTHAX   ) GU012100
C=====                                                    GU012110
      COMMON/ECUT/CUTHIN,CUTHAX,ICUTYP                     GU012120
      IECUT=1                                               GU012130
      IF(ICUTYP.EQ.1)THEN                                    GU012140
        IF((E1.LT.CUTHAX).AND.(E1.GT.CUTHIN)) IECUT=0     GU012150
      ENDIF                                                 GU012160
      IF(ICUTYP.EQ.2)THEN                                    GU012170
        IF((E2.LT.CUTHAX).AND.(E2.GT.CUTHIN)) IECUT=0     GU012180
      ENDIF                                                 GU012190
      IF(ICUTYP.EQ.12)THEN                                   GU012200
        IF(((E2.LT.CUTHAX).AND.(E2.GT.CUTHIN)).AND.      GU012210
+         ((E1.LT.CUTHAX).AND.(E1.GT.CUTHIN))) IECUT=0    GU012220
      ENDIF                                                 GU012230
      IF(IECUT.EQ.1)write(*,*) 'IECUT=1'                  GU012240
      END                                                    GU012250
      SUBROUTINE RELANG(X,Y,ANGLE)                          GU012260
C=====                                                    GU012270
C   Function: calculate angle in degree between X and Y      GU012280
C=====                                                    GU012290
      DIMENSION X(3),Y(3)                                   GU012300
      ANGLE=180./3.141592*ACOS( (X(1)*Y(1)+X(2)*Y(2)+X(3)*Y(3))/ GU012310
+                               SQRT((X(1)*X(1)+X(2)*X(2)+X(3)*X(3))* GU012320
+                               (Y(1)*Y(1)+Y(2)*Y(2)+Y(3)*Y(3))) ) GU012330
      END                                                    GU012340
      SUBROUTINE DEBANG(PG,CH1,CH2,MA,MA2)                  GU012350
C=====                                                    GU012360
C   INPUT:   PG=  GAMMA IMPULS                             GU012370
C            CHi center of energy vector of gamma i       GU012380
C   OUTPUT:  MA=  angle of the gamma i with the smallest deviation GU012390
C            of the direction of PG                       GU012400
C            MA2= angle of PG with the Z-Axis               GU012410
C=====                                                    GU012420
      REAL*4 PG(3),CH1(3),CH2(3),MA,MA2,ZAX(3)             GU012430
      DATA ZAX/0.,0.,1./                                  GU012440
      MA=0.                                                 GU012450
      MA2=0.                                                GU012460
      RSAVE=PG(2)                                           GU012470
      CALL RELANG(PG,CH1,MA)                                 GU012480
      CALL RELANG(PG,CH2,MA2)                               GU012490

```


Bibliographie

- [1] H. Noll et al. Cooperative Effects Observed in the π^0 Production from Nucleus-Nucleus Collisions. *Phys. Rev. Lett.*, 52:1284, 1984.
- [2] H. Heckwolf et al. Subthreshold Production of Neutral Pions with Ar Ions of 44 MeV/u. *Zeitschrift für Physik*, A315:243, 1984.
- [3] J.-P Didelez and R. Frascaria . Mesure de σ_T des reactions $p + p \rightarrow p + p + \pi^0$. November 1988. proposed .
- [4] V.Metag and R.S. Simon. TAPS (A Two Arm Photon Spectrometer). In Hans-Peter-Morsch, editor, *Jül-Spez*, KFA Jülich, Mai 1988. CANU Arbeitstreffen über Detektorentwicklung und Experimente an COSY.
- [5] J.P Didelez. A Variable Geometry π^0 Spectrometer (SPEC-O). First Experimental Results at Intermediate Energy. June 1987. Vortrag im Rahmen des COSY-Seminars¹des Instituts für Strahlen- und Kernphysik der Rheinischen Friedrich Wilhelmsuniversität Bonn.
- [6] G. Sanouillet and M. Bolore and X. Charlot and J. Girard and J.-M. Hisleur and J. Julien and R. Legrain and J. Poitou and V. Bellini and H. Dabrowski and G. Pappalardo. Etude de la Production de Pions d'Energie comprise entre 20 et 100 MeV avec des faisceaux p, ^3He , ^{12}C et ^{16}O au dessous ou au voisinage du seuil. *Centre d'Etude Nucleaires de Saclay*, CEA-N-2483, Mai 1986.
- [7] P. Braun-Munzinger and J. Stachel. Pion Production in Heavy Ion Collisions. *State Univerity of New York at Stony Brook*, Preprint, 1987.
- [8] J. Aichelin. Subthreshold π^0 -Production in the Boltzmann-Uehling-Uhlenbeck Theory. *Phys. Lett.* , 164B:261, 1985.

¹Cooler Synchrotron der KFA Jülich

- [9] G.D. Westfall and J. Gosset and P. J. Johannsen and A. M. Poskanzer and W. G. Meyer et al. Nuclear Fireball Model for Proton Inclusive Spectra from Relativistic Heavy-Ion Collisions. *Phys. Rev. Lett.* , 37:1202, 1976.
- [10] G.D. Westfall and B.V. Jacak and N. Anantaraman and M.W. Curtin and G.M. Crawley et al. Energy dependence of Nuclear Matter Disassembly in Heavy Ion Collisions. *Phys. Lett.* , 116B:118, 1982.
- [11] K. Kilian. Zweistufenprozesse. 1988. Institutsseminar.
- [12] J. Ernst and G. Gaul and D. Gotta and E. Grosse and K. Kilian and R. Koch H. Machner and R. Perske and R. Santo and O.W.B. Schult and P. Turek and A. Wasserziehr. π^0 -Production at Subthreshold Energies. *Annual Report 1987 des IKP der KFA Jülich*, 442:21, 1988.
- [13] M. Lebrun and J. Deutsch, D. Favart and P. Lipnik and P. Macq and R. Prieels. Lead-Glass Hodoscope for 50-150 MeV Photons. *Nuclear Instruments and Methodes*, 166:151-154, 1979.
- [14] C. Michel, E. Grosse et al. Large Solid Angle Detector for Hard Photons and Neutral Pions From Nucleus Nucleus Collisions Below 100 MeV/u. *Nuclear Instruments and Methodes*, A243:395-412, 1986.
- [15] T. Sefzick and K. Kilian and W. Oelert and G. Wienands. A System for Simulation of Scintillator Light Signals. *Annual Report 1987 des IKP der KFA Jülich*, 442:134, 1988.
- [16] E. Longo and I. Sestili. Monte Carlo Calculation of Photon-Initiated Electromagnetic Showers in Lead Glass. *Nuclear Instruments and Methodes*, A128:283-307, 1975.
- [17] R. Nellen K.-H. Watzlawik. FATIMA Analyser System. *Annual Report 1987 des IKP der KFA Jülich*, 442:147, 1988.
- [18] R. R. Wilson. Precision Quantameter for High Energy X-Rays. *Nuclear Instruments and Methods*, Vol.1:101, 1957.
- [19] A. Brun et al. *GEANT3*. 1984. DD/EE/84-1.
- [20] H. W. Baer et al. Design, Construction, and Performance of a High-Resolution π^0 Spectrometer for Nuclear Physics Experiments. *Nuclear Instruments and Methodes*, A180:445-459, 1981.

- [21] N. Herrmann et al. Comparison of Lead Glass and BaF_2 as Detectors for High Energy Photons. *GSI Darmstadt, Scientific Report*, 285, 1986.
- [22] R. Perske. 1989. Diplomarbeit.
- [23] J. Stachel et al. Pion Production: A Probe for Coherence in medium energy heavy ion collisions. *Physical Review C*, Vol.33(4):1420–1434, April 1986.
- [24] F. James. *Monte Carlo Phase Space*. yellow report CERN 68-15, Geneva, 1968. Lectures given in the Academic Training Programme of CERN.
- [25] W. H. Press and B. P. Flannery and S. A. Teukolsky and W. T. Vetterling. *Numerical Recipes*. Cambridge University Press, 1987.
- [26] Particle Data Group. *Particle Properties Data Booklet*. 1986.
- [27] H.A. Bethe. Zur Theorie des Durchgangs schneller Korpuskularstrahlen durch Materie. *Ann. Physik*, 5:325, 1930.
- [28] F. Bloch. Zur Bremsung rasch bewegter Teilchen beim Durchgang durch Materie. *Ann. Physik*, 16:285, 1933.
- [29] H. Frauenfelder and E. Henley. *Subatomic Physics*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A, 1974.
- [30] P. Michael Tuts et al. The CUSBII BGO Calorimeter. *Nuclear Instruments and Methods*, A265:243–251, 1988.

Abbildungverzeichnis

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Design des π^0 Spektrometers. Die Abbildung zeigt wie die zehn Teleskope, von denen jedes aus einem Konverter und zwei Absorbern besteht, um die Streukammer angeordnet sind. | 9 |
| 2.2 | Konstruktion eines der 10 Teleskope des π^0 Spektrometers. | 10 |
| 2.3 | Vertikaler Schnitt durch die Detektorebene senkrecht zur Strahlachse. . . | 10 |
| 3.1 | Prinzip der Entscheidung, ob ein Ereignis als rekonstruierbar aufgezeichnet wird | 12 |
| 3.2 | Prozentualer Anteil der Energieabgabe durch γ 's (Paarerzeugung, Comptonstreuung, Photoeffekt) (links) e^\pm überhaupt (Energieverlust unterhalb er kritischen Energie, Vielfachstreuung, Bremsstrahlung, Annihilation) (Mitte) und durch e^\pm Teilchen, die ihre Energie im wesentlichen in Form von Bremsstrahlung abgegeben haben (rechts). | 15 |
| 3.3 | Bleiglas Energie Spektren für monoenergetische Photonen aus einer Messung von N. Herrman u. a.(GSI 1986) | 16 |
| 3.4 | Winkelbestimmung mit und ohne Gewichtung. Die dünne Linie liegt in Richtung des Schauerschwerpunktes, die dicke in Richtung zum Mittelpunkt des Moduls, in dem die meiste Energie deponiert worden ist. | 19 |
| 3.5 | Winkelbestimmung mit und ohne Gewichtung. Oben ist ein Schauerradius von 0.5 cm und unten einer von 1.5 cm angenommen worden. | 21 |
| 3.6 | Winkelbestimmung mit und ohne Gewichtung. Oben ist ein Schauerradius von 2.5 cm und unten einer von 3.5 cm angenommen worden. | 21 |
| 3.7 | Winkelbestimmung mit und ohne Gewichtung. Oben ist ein Schauerradius von 5 cm und unten einer von 7.5 cm angenommen worden. | 22 |
| 3.8 | Verschiedene Möglichkeiten der prinzipiellen Schauerpositionen unter Berücksichtigung der Lateralausdehnung des Schauers | 22 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.9 | Auf der Ordinate sind die Winkelabweichungen und auf der Abszisse die tatsächlichen Polarwinkel der γ -Teilchen in 5°-Schritten aufgetragen. Auf der linken Seite wurden die Absorbermodulmittelpunkte zur Richtungsbestimmung benutzt. Auf der rechten Seite wurde mit Energiegewichtung gerechnet. Man sieht, wie durch die Energiegewichtung die Fehler zwischen den Absorbermittelpunkten deutlich verkleinert werden. | 23 |
| 3.10 | Ruhemassenspektrum des Pions einmal mit Berechnung des Photonenöffnungswinkel aus den Schauerschwerpunkten (durchgezogene Linie) und einmal unter Zuhilfenahme der exakten Winkel | 24 |
| 3.11 | Geometrische Effizienz des π^0 Spektrometers. Sie wurde über ϕ_π integriert um eine zweidimensionale Darstellung als Funktion des π^0 Impulses im Bereich zwischen 0 und 400 MeV/c und von $\cos\theta_\pi + 1$ zwischen 0 und 2 zu ermöglichen. | 26 |
| 3.12 | Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein in einem 4.35cm dicken Bleiglas-Čerenkov-Zähler ein elektromagnetischer Schauer initiiert wird (aus GEANT-Simulationsrechnungen). | 27 |
| 3.13 | Energieverlust von γ -Teilchen durch Bremsstrahlung in 4 cm Bleiglas für verschiedene Einschußenergien. | 29 |
| 3.14 | Aus $m^2 = 2E_1E_2(1 - \cos\Theta_{12})$ rekonstruierte Pionenmasse; das linke Histogramm ergibt sich, wenn man den Energieschnitt bei den Photonenenergien bei 1MeV anbringt. Die rechte Seite enthält diese Ereignisse noch. | 31 |
| 3.15 | Differenz zwischen im Detektor deponierter Energie und Projektilenergie . | 32 |
| 3.16 | Das asymmetrischere Histogramm stellt die Energie- Verteilung aller erzeugten Photonen dar. Die andere Kurve enthält nur noch die Photonen, deren Signal zu einem Triggersignal geführt hat. | 34 |
| 3.17 | Winkelverteilung der nachgewiesenen Pionen. | 35 |
| 3.18 | Öffnungswinkelverteilung der nachgewiesenen γ -Teilchen-Paare. | 36 |
| 3.19 | Energieverteilung der nachgewiesenen Pionen. | 37 |
| 3.20 | Verteilungen der Z-Komponente des Impulses für die Impulsbetragsintervalle $(30 \pm 1)\text{MeV}$, $(60 \pm 1)\text{MeV}$, $(100 \pm 1)\text{MeV}$ | 39 |
| 3.21 | Verteilung der Pionen-Impulskomponenten und des Betrages. In der linken Spalte sind die Photonen-Impulse aufgetragen. (liniare Energieverteilung) | 40 |
| 3.22 | Verteilung der Pionen-Impulskomponenten und des Betrages. In der linken Spalte sind die Photonen-Imoulse aufgetragen. (exponentielle Energieverteilung) | 41 |
| 4.1 | Zwei Teleskope des π^0 -Spektrometers am Strahlplatz | 44 |

| | | |
|------|--|----|
| 4.2 | Ein einfallendes hochenergetisches Proton tritt in die Atmosphäre ein und erzeugt einen Kaskadenschauer. | 46 |
| 4.3 | Energieverlust in 10 cm SF5 von kosmischen Myonen der Energie 1 GeV (linke Kurve), 10 GeV (getrichelt), 100 GeV (rechte Kurve).(Monte Carlo) | 47 |
| 4.4 | Meßergebnisse des Energieverlust in 10 cm SF5 von kosmischen Myonen. . | 48 |
| 4.5 | Meßelektronik zum Nachweis der kosmischen Myonen. LS=linear shaper, D=Delay, LGS=Linear Gate Stretcher | 49 |
| 4.6 | Schaltplan der LED-Pulsgeberelektronik | 50 |
| 4.7 | Signal am Photomultipliaerausgang bei 2 kVolt Betriebsspannung. Als Signalquelle wurde ein LED in den Lichtleiter eingekoppelt. Die LED wurde mit einem speziellen Pulsgeber (siehe Text) gespeist (PM EMI 9821B). . | 51 |
| 4.8 | Halterung der Luminiszenzdiode für den Hochfrequenzbetrieb. | 52 |
| 4.9 | Vergleichsmessung zwischen LED-Pulsgeber und AM241-NaJ Pulser . . . | 54 |
| 4.10 | Messung der Lichtausbeute bei verschiedenen Modulverpackungen. Auf der Ordinate ist die Lichtausbeute und auf der Abszisse die relative Halbwertsbreite(FWHM) aufgetragen. | 55 |

5.5 Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all jenen bedanken, die durch ihre Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Mein besonderer Dank gilt:

- Herrn Dr. H. Machner für die sorgfältige Durchsicht der Arbeit, die vorzügliche Betreuung, die zahlreichen Diskussionen und die Freiheit in der Thematik;
- Herrn Prof. Dr. K. Kilian und Herrn Prof. Dr. R. Lieder für die Übernahme der Referate;
- Herrn Dr. E. Grosse für seine Anregung zur Zerfallswinkelanalyse;
- den Herren A. Empl, Th. Sefzig, G. Wienands für die Hilfe beim Aufbau und Test der Lichtpulserlektronik;
- Herrn F. Carminati² für die Überlassung des GEANT311 Quelltextes und seine Hilfsbereitschaft bei Fragen der Installation;
- Frau H. Gerlach (ZAM) für ihre Unterstützung bei der Anpassung der Grafik an die lokale GKS Installation;
- Herrn A. Empl für die Überlassung des Quelltextes des Eventgenerators;
- Bei der KFA möchte ich mich für die Bereitstellung der hervorragenden Arbeitsmöglichkeiten bedanken, was besonders die aufwendigen Rechnungen auf der Großrechenanlage und die Unterstützung durch die Mitarbeiter des Zentralinstituts für Angewandte Mathematik (ZAM) betrifft.

²CERN Data Division

