



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

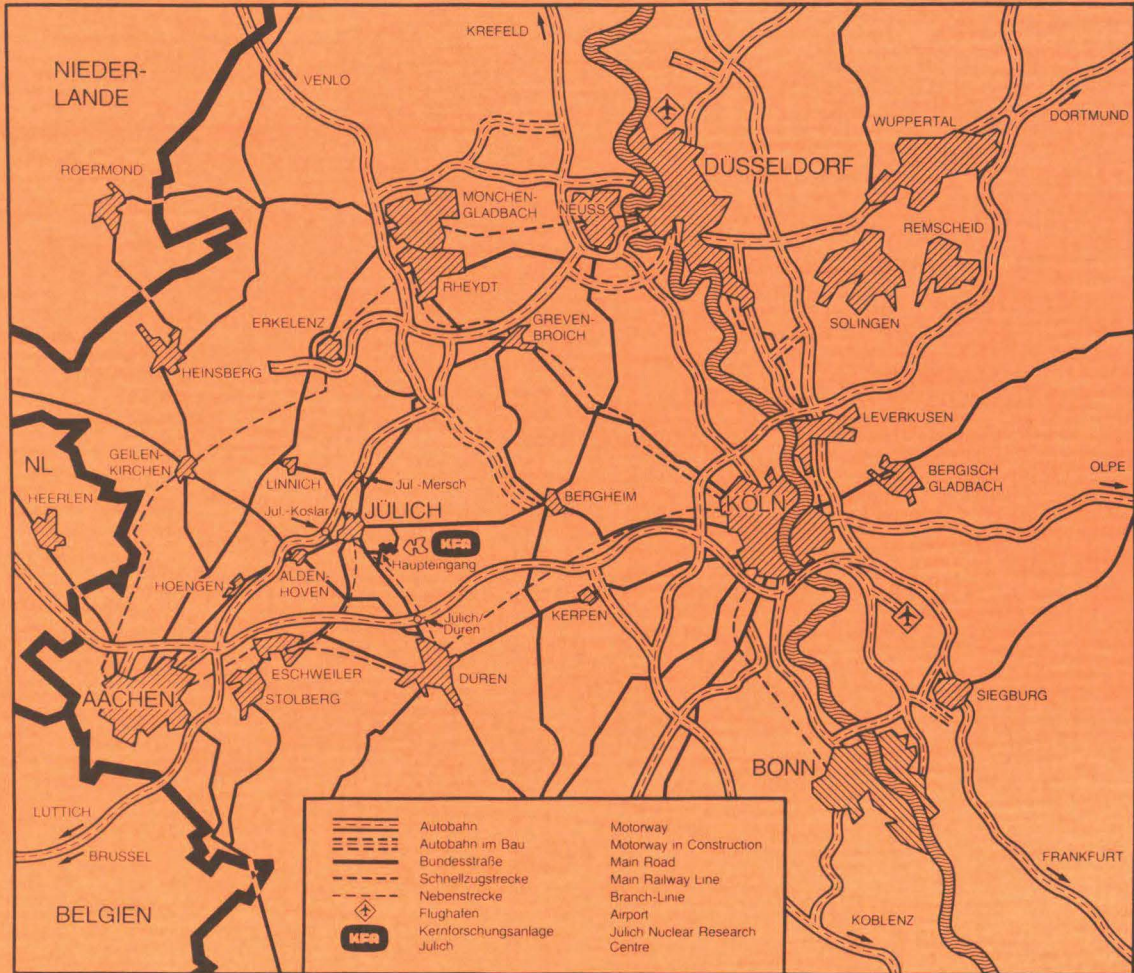
Institut für Kernphysik

**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 Pulsberelektronik	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]

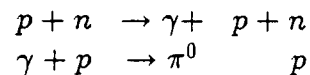
2. Thermische Modelle

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] Bleigliashodoskop 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 Photomultipliierverstärkung 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 Vieldrahtproportionalkammer 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 Konverterrings beträgt 7.5cm.

2.3 Absorberring

Der Absorberring besteht aus vierzig Bleiglasmoduln, 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 ($\simeq 6.1\chi_0$), 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

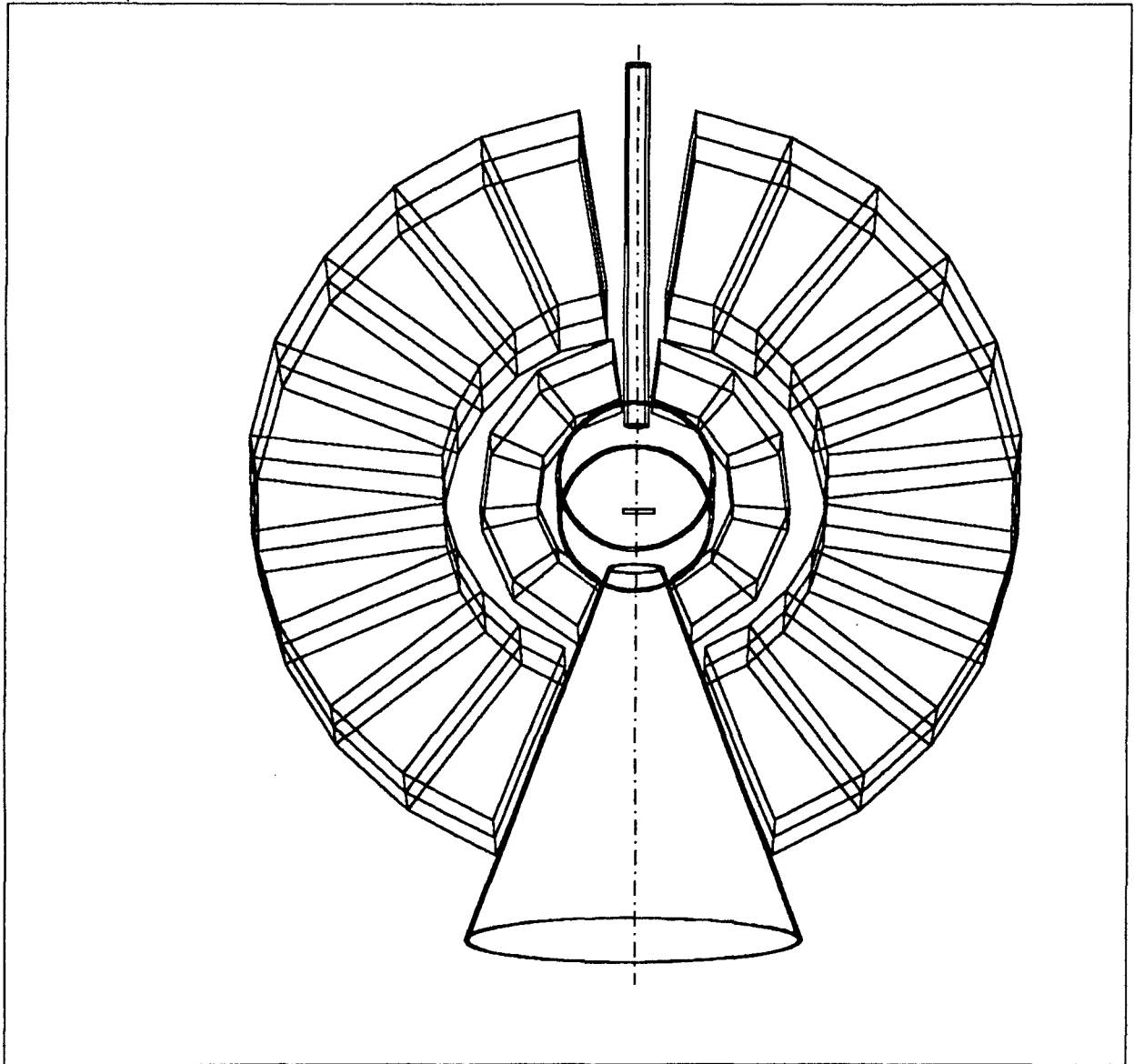


Abbildung 2.1: Design des π^0 Spektrometers. Die Abbildung zeigt wie die zehn Teleskope, von denen jedes aus einem Konverter und zwei Absorbern besteht, um die Streukammer angeordnet sind.

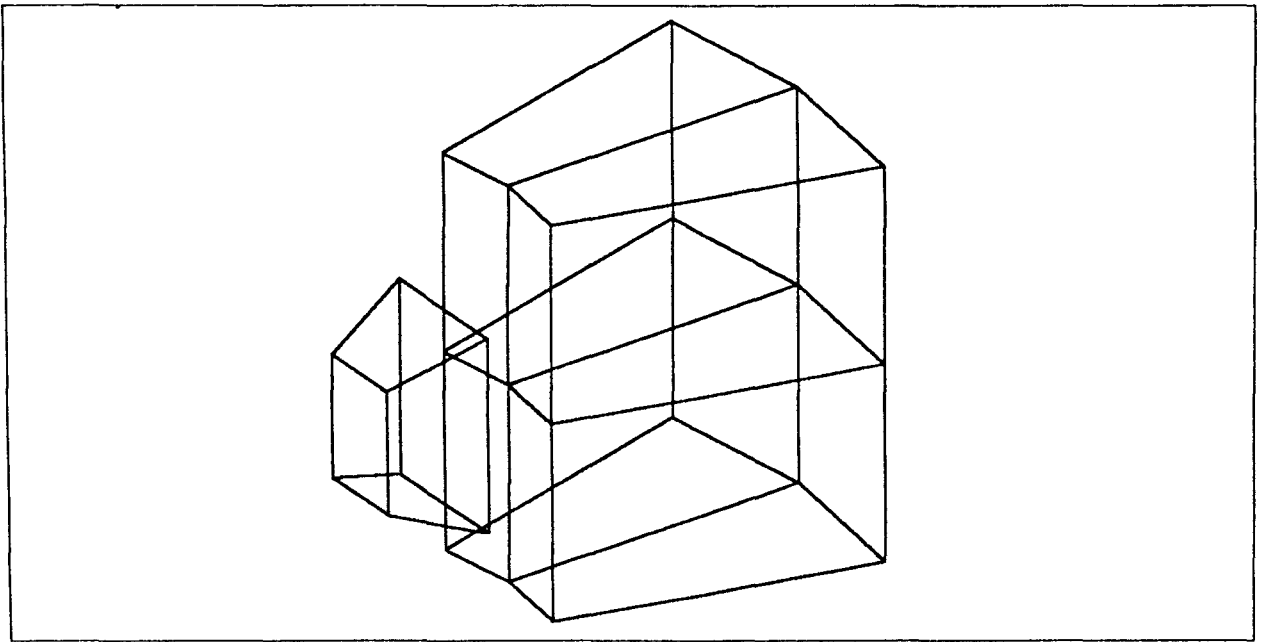


Abbildung 2.2: Konstruktion eines der 10 Teleskope des π^0 Spektrometers.

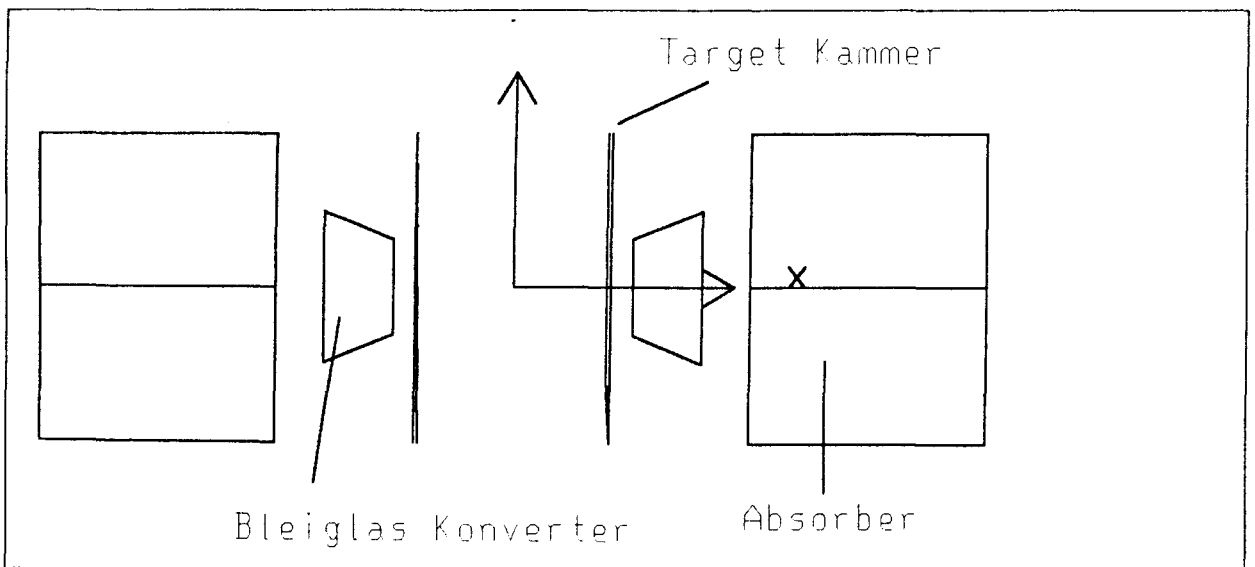


Abbildung 2.3: Vertikaler Schnitt durch die Detektorebene senkrecht zur Strahlachse.

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.

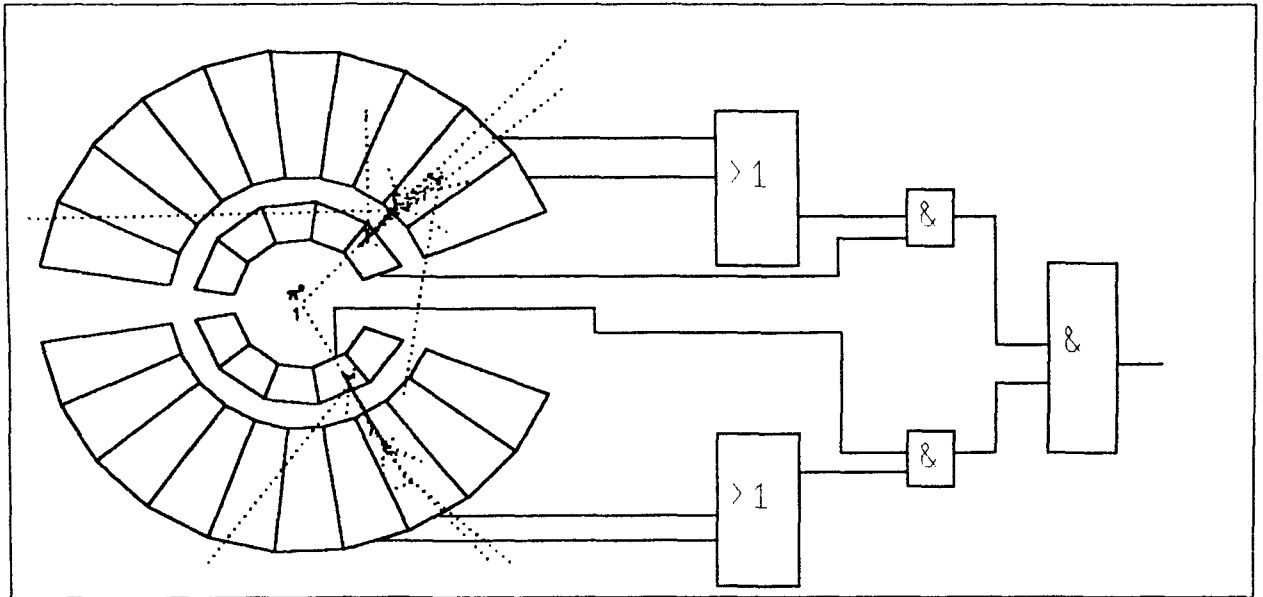


Abbildung 3.1: Prinzip der Entscheidung, ob ein Ereignis als rekonstruierbar aufgezeichnet wird .

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]:

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

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 Unterprogram 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.

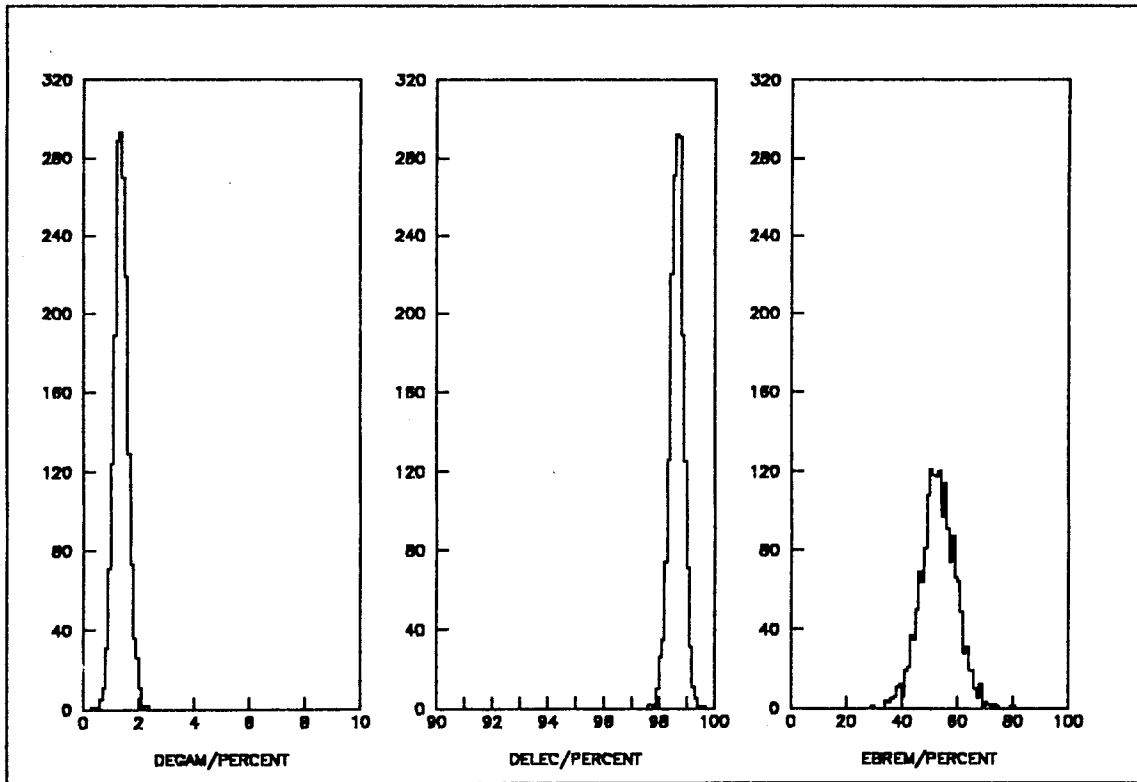


Abbildung 3.2: Prozentualer Anteil der Energieabgabe durch γ 's (Paarerzeugung, Comptonstreuung, Photoeffekt) (links) e^\pm überhaupt (Energieverlust unterhalb der kritischen Energie, Vielfachstreuung, Bremsstrahlung, Annihilation) (Mitte) und durch e^\pm Teilchen, die ihre Energie im wesentlichen in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

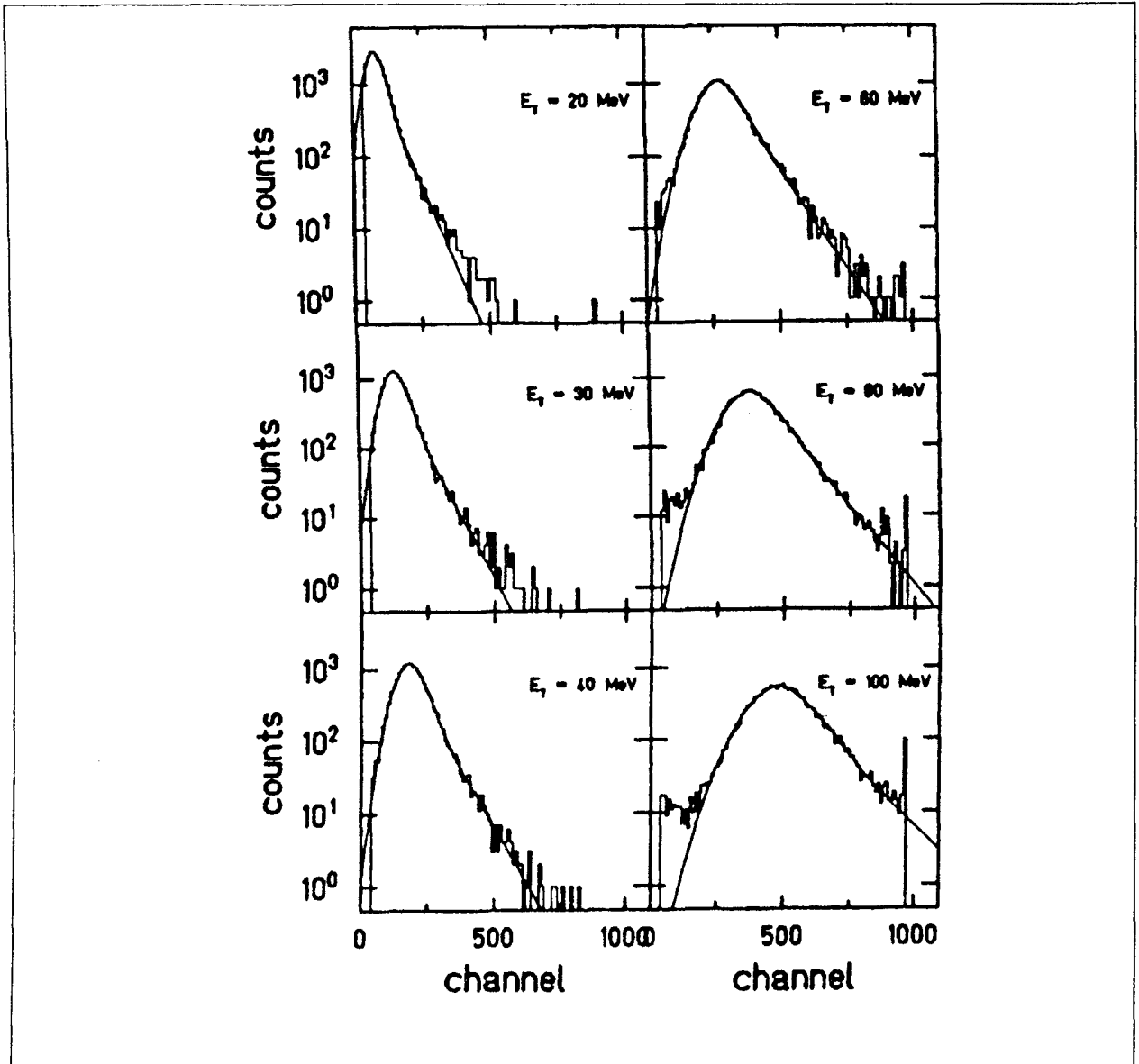
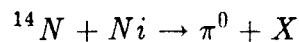


Abbildung 3.3: Bleiglas Energie Spektren für monoenergetische Photonen aus einer Messung von N. Herrman u. a.(GSI 1986)

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.

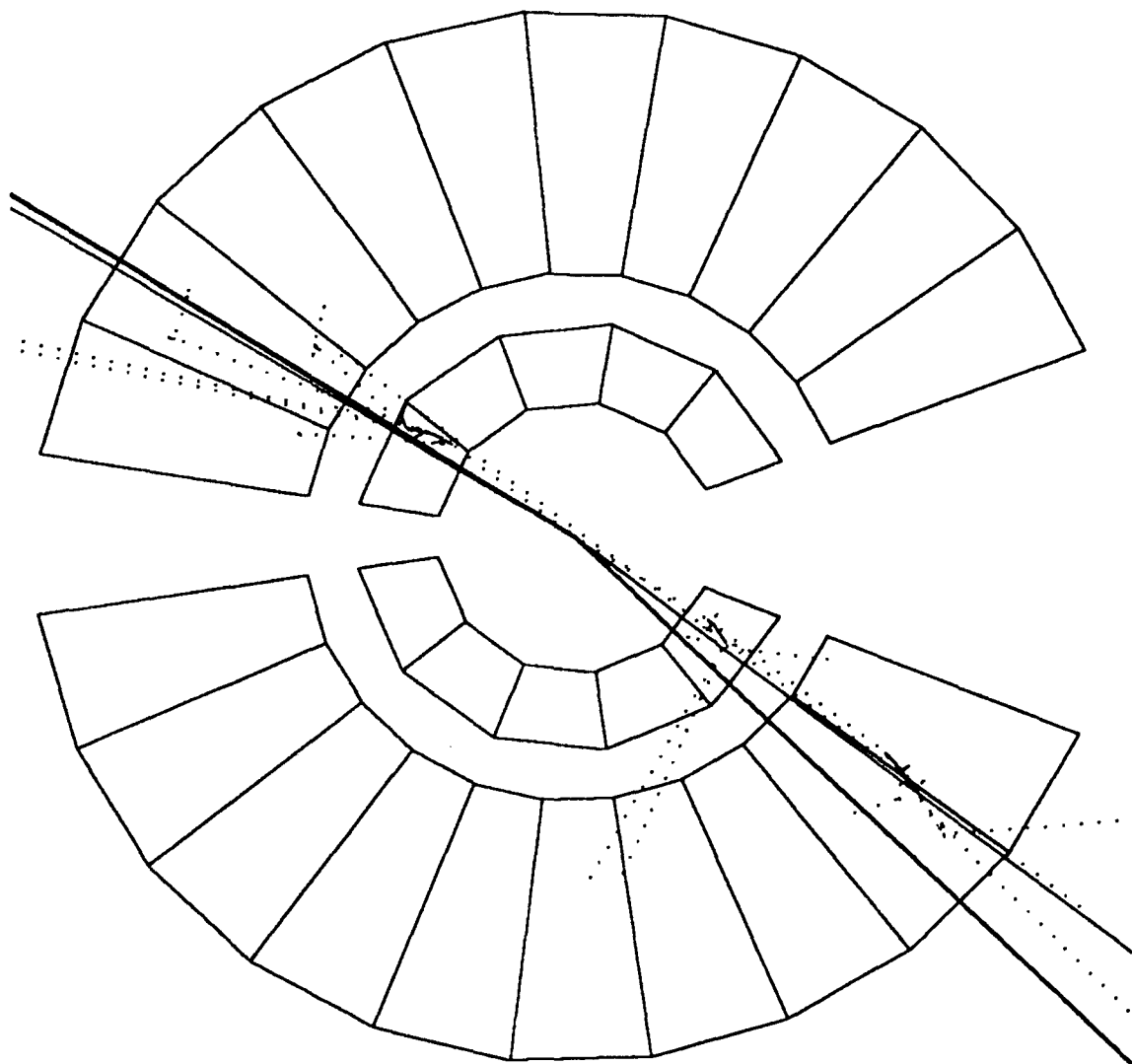


Abbildung 3.4: Winkelbestimmung mit und ohne Gewichtung. Die dünne Linie liegt in Richtung des Schauerschwerpunktes, die dicke in Richtung zum Mittelpunkt des Moduls, in dem die meiste Energie deponiert worden ist.

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.

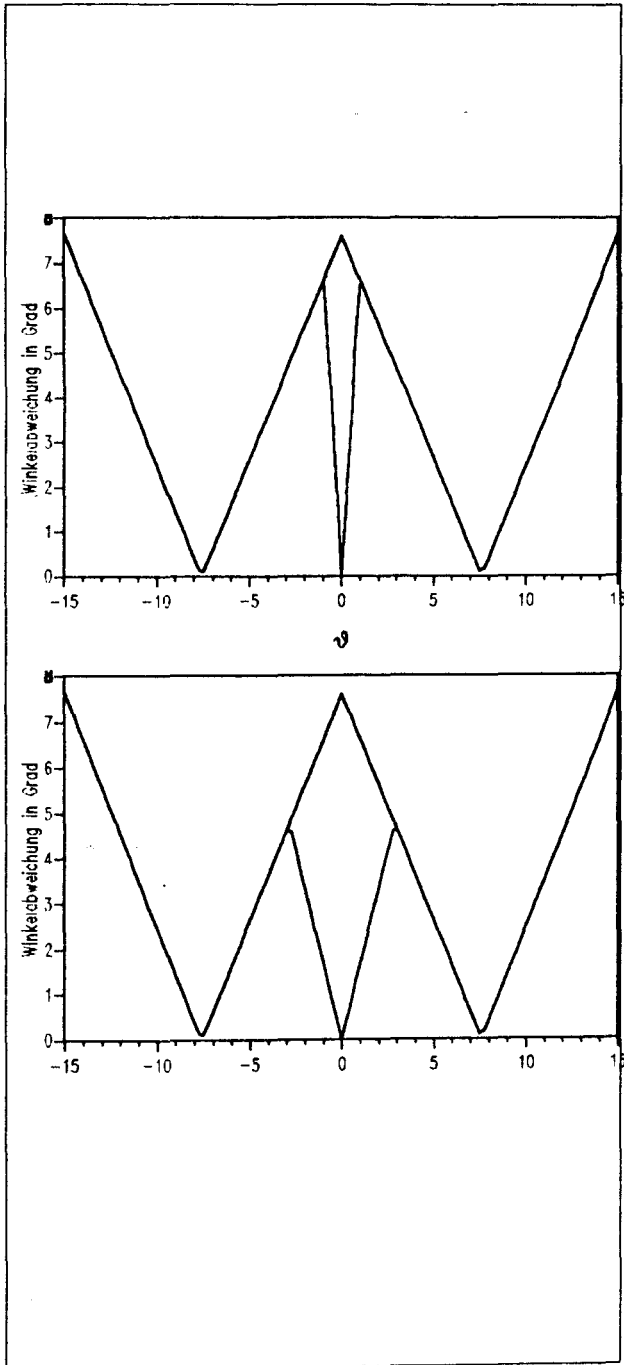


Abbildung 3.5: Winkelbestimmung mit und ohne Gewichtung. Oben ist ein Schauerradius von 0.5 cm und unten einer von 1.5 cm angenommen worden.

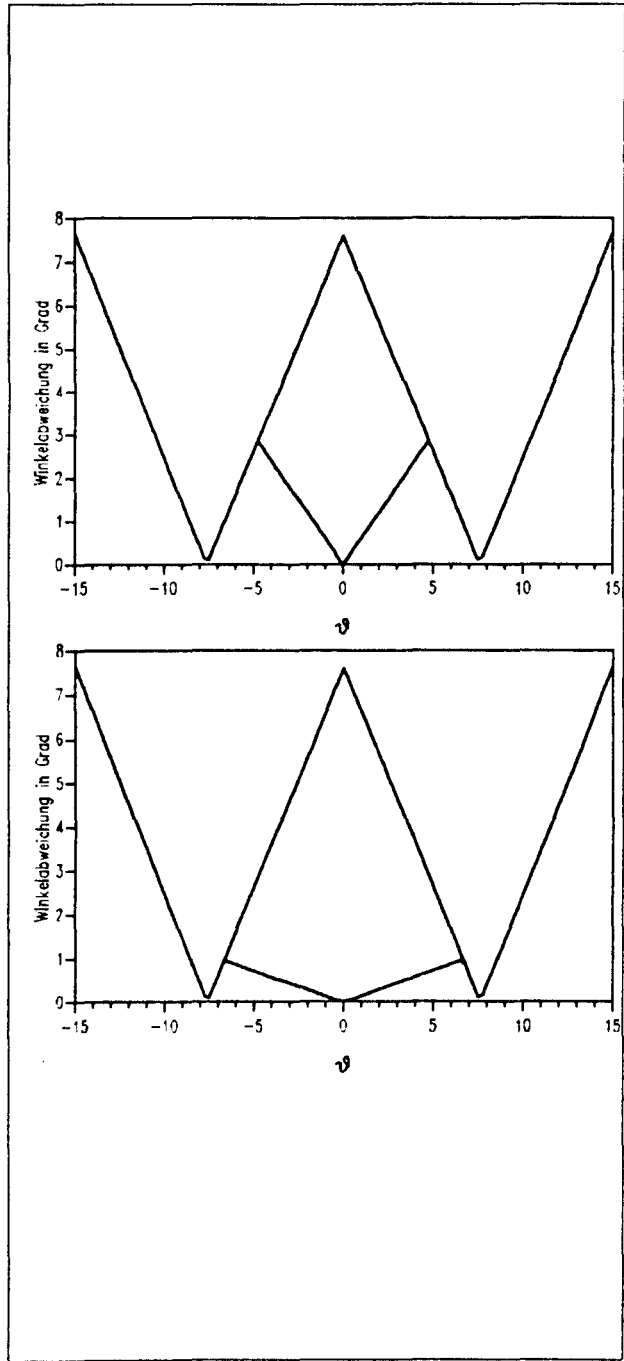


Abbildung 3.6: Winkelbestimmung mit und ohne Gewichtung. Oben ist ein Schauerradius von 2.5 cm und unten einer von 3.5 cm angenommen worden.

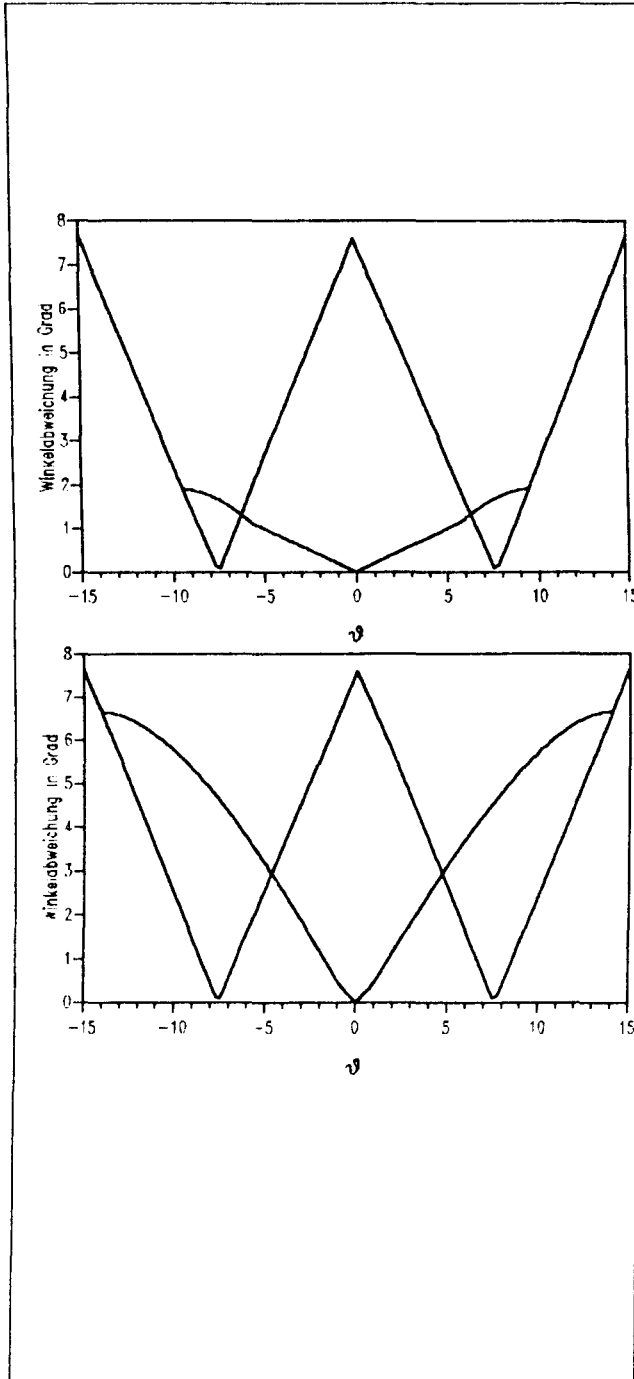


Abbildung 3.7: Winkelbestimmung mit und ohne Gewichtung. Oben ist ein Schauerradius von 5 cm und unten einer von 7.5 cm angenommen worden.

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.

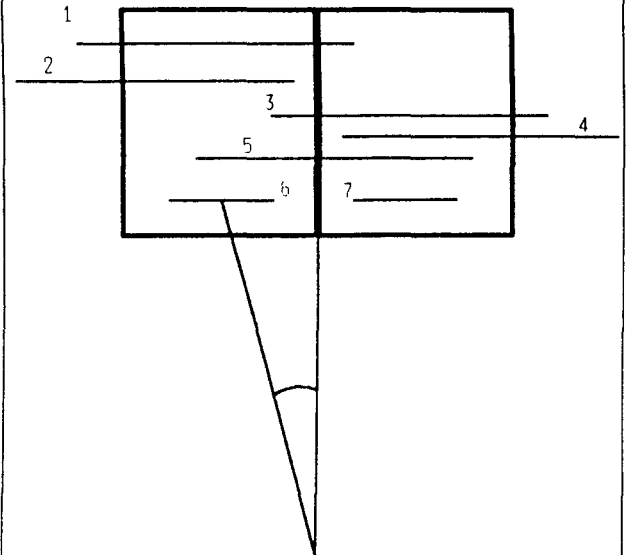


Abbildung 3.8: Verschiedene Möglichkeiten der prinzipiellen Schauerpositionen unter Berücksichtigung der Lateralausdehnung des Schauers

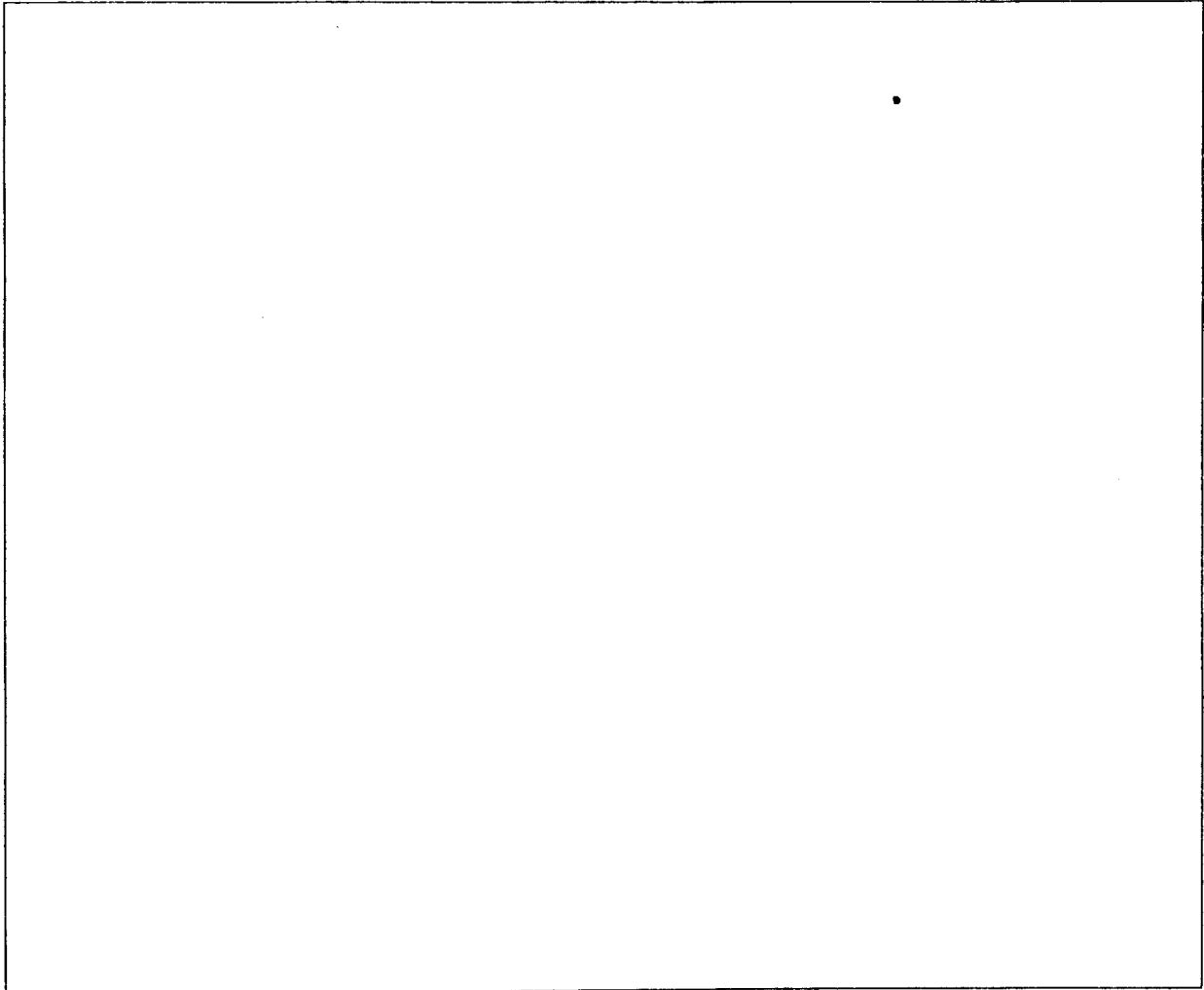


Abbildung 3.9: Auf der Ordinate sind die Winkelabweichungen und auf der Abszisse die tatsächlichen Polarwinkel der γ -Teilchen in 5° -Schritten aufgetragen. Auf der linken Seite wurden die Absorbermodulmittelpunkte zur Richtungsbestimmung benutzt. Auf der rechten Seite wurde mit Energiegewichtung gerechnet.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

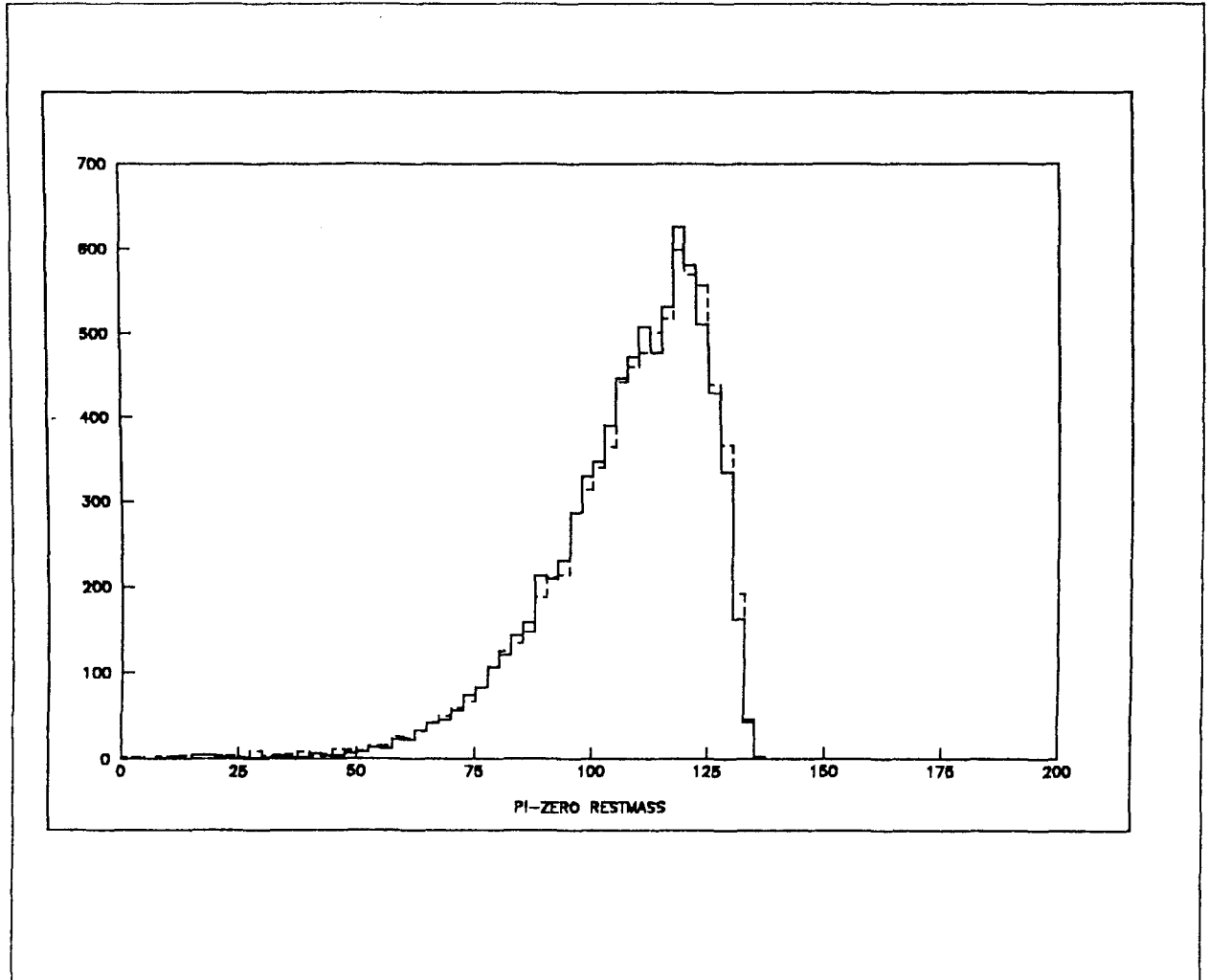


Abbildung 3.10: Ruhemassenspektrum des Pions einmal mit Berechnung des Photonenöffnungswinkel aus den Schauerschwerpunkten (durchgezogene Linie) und einmal unter Zuhilfenahme der exakten Winkel

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 Bleigaskonverter 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.

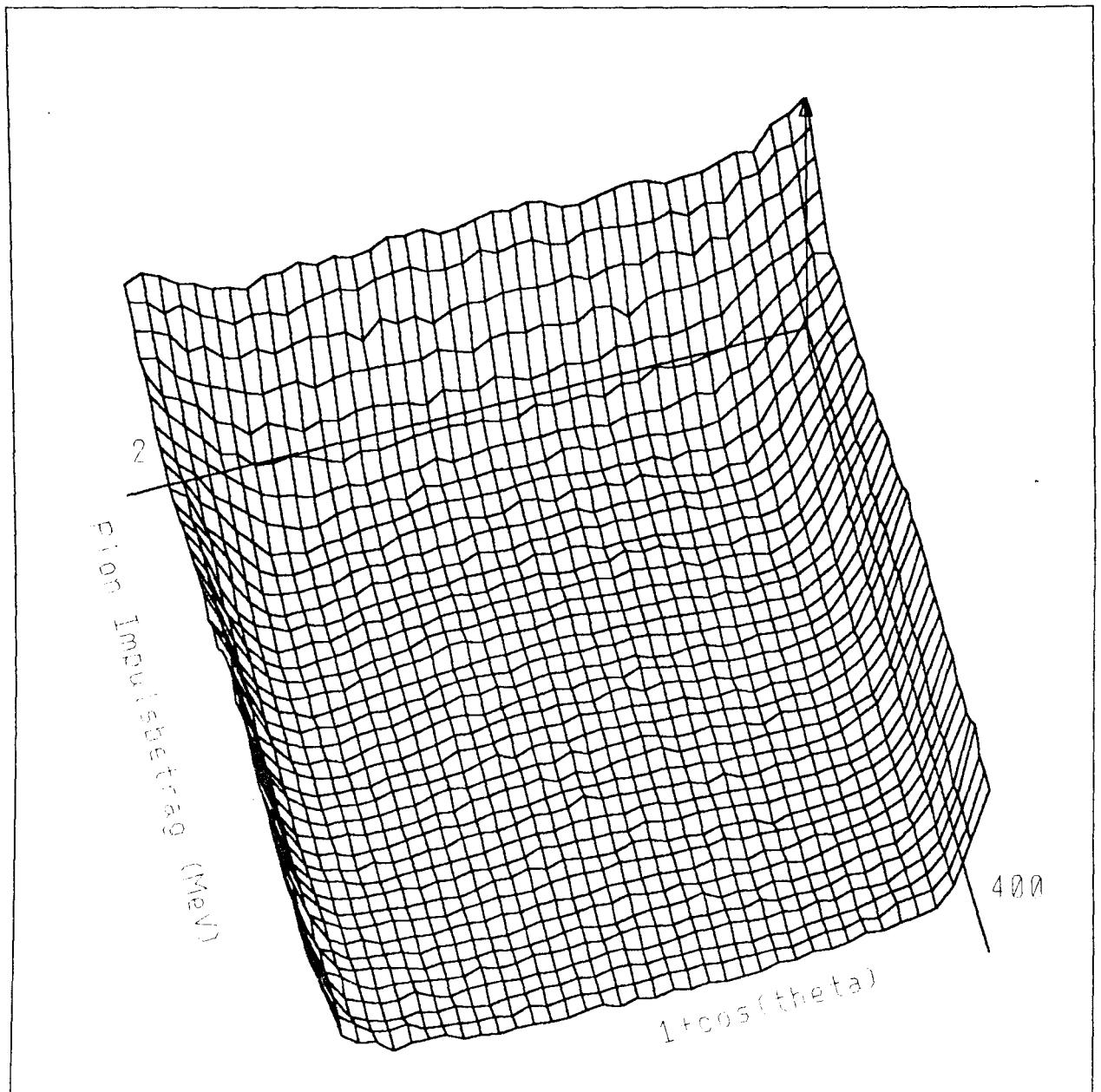


Abbildung 3.11: Geometrische Effizienz des π^0 Spektrometers. Sie wurde über ϕ_π integriert um eine zweidimensionale Darstellung als Funktion des π^0 Impulses im Bereich zwischen 0 und 400 MeV/c und von $\cos\theta_\pi + 1$ zwischen 0 und 2 zu ermöglichen.

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:

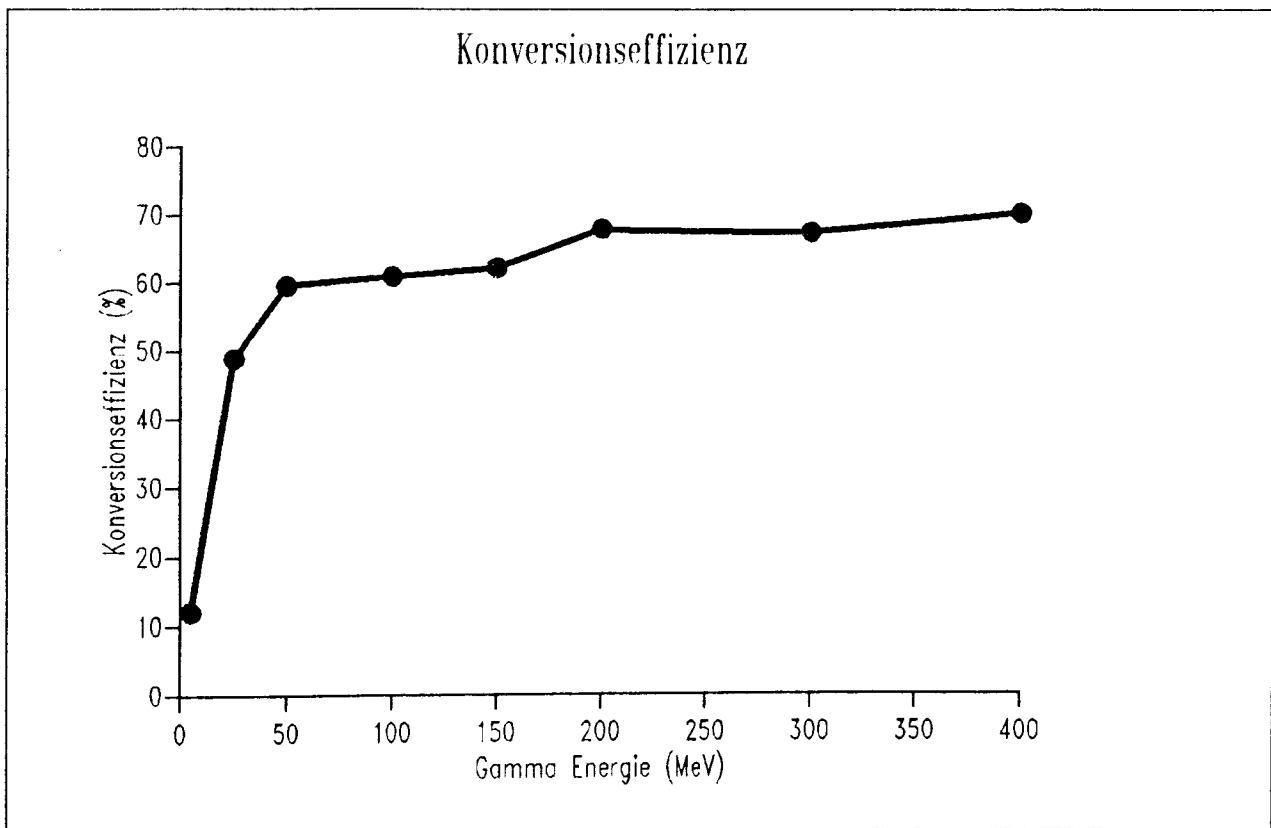


Abbildung 3.12: Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein in einem 4.35cm dicken Bleiglas-Čerenkov-Zähler ein elektromagnetischer Schauer initiiert wird (aus GEANT-Simulationsrechnungen).

Die Kurve wurde mit Hilfe von Monte Carlo Rechnungen¹⁰ erstellt. Dazu wurden für jeden markierten Kurvenpunkt 1000 γ -Teilchen mit festem Impulsvektor auf einen Bleiglaskonverter "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_r [%]
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.

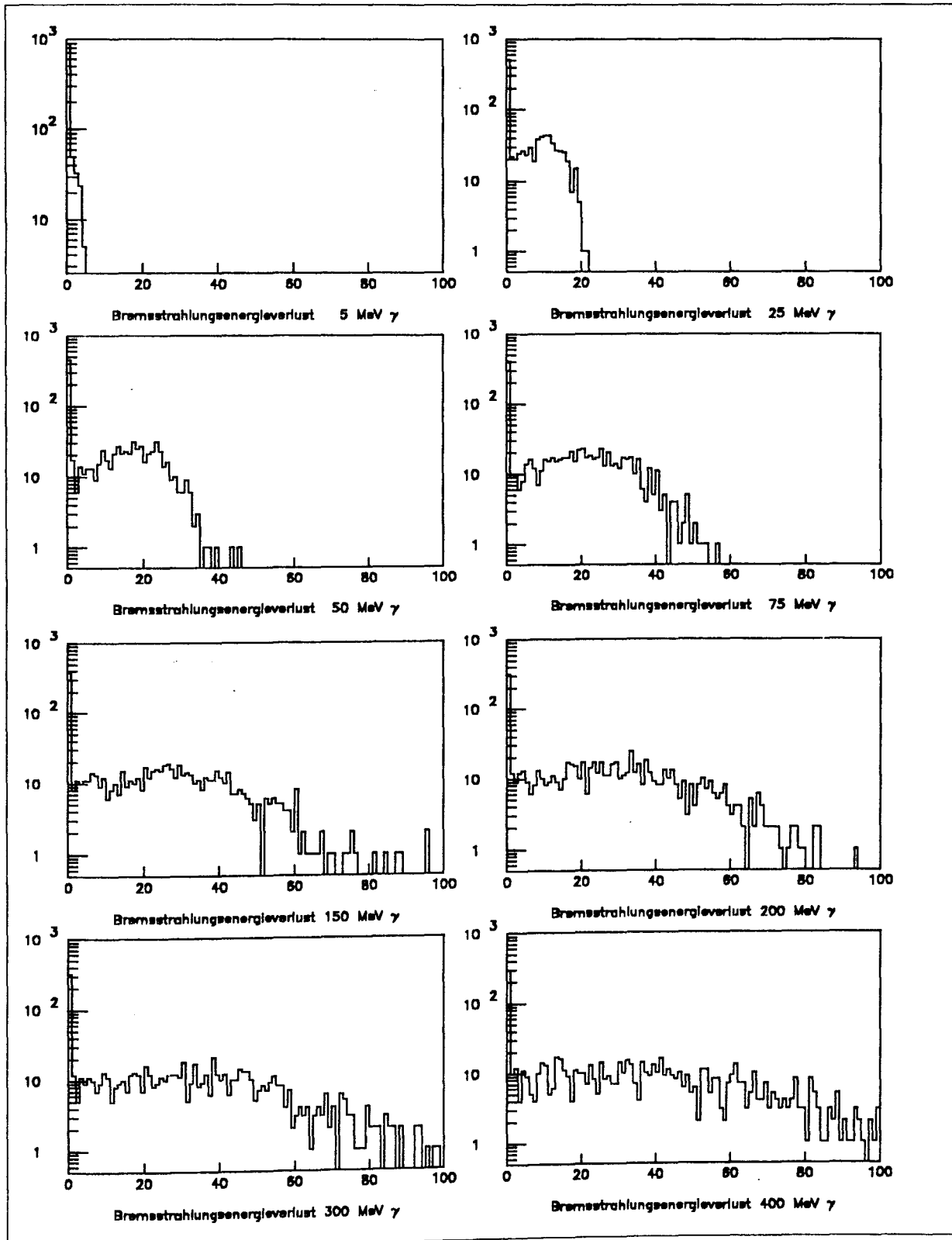


Abbildung 3.13: Energieverlust von γ -Teilchen durch Bremsstrahlung in 4 cm Bleiglas für verschiedene Einschüßenergien.

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.

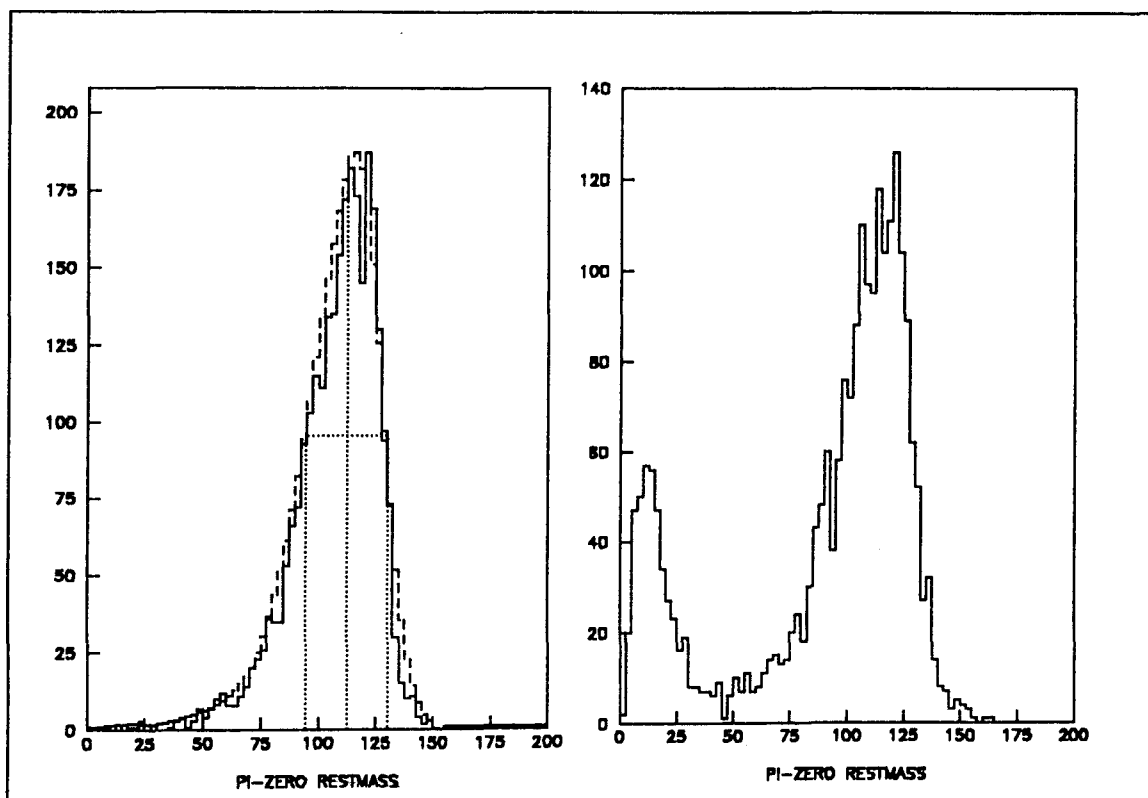


Abbildung 3.14: Aus $m^2 = 2E_1E_2(1 - \cos\Theta_{12})$ rekonstruierte Pionenmasse; das linke Histogramm ergibt sich, wenn man den Energieschnitt bei den Photonenergien bei 1MeV anbringt. Die rechte Seite enthält diese Ereignisse noch.

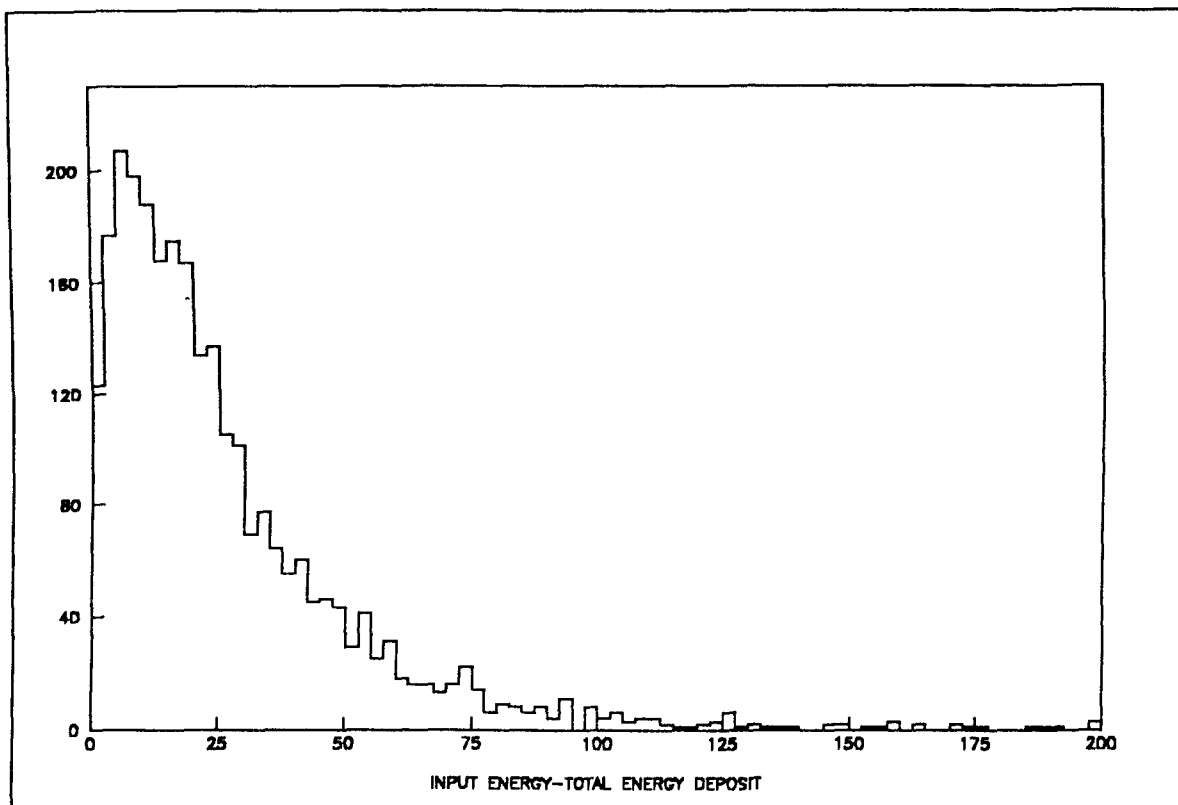


Abbildung 3.15: Differenz zwischen im Detektor deponierter Energie und Projektilenergie

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.

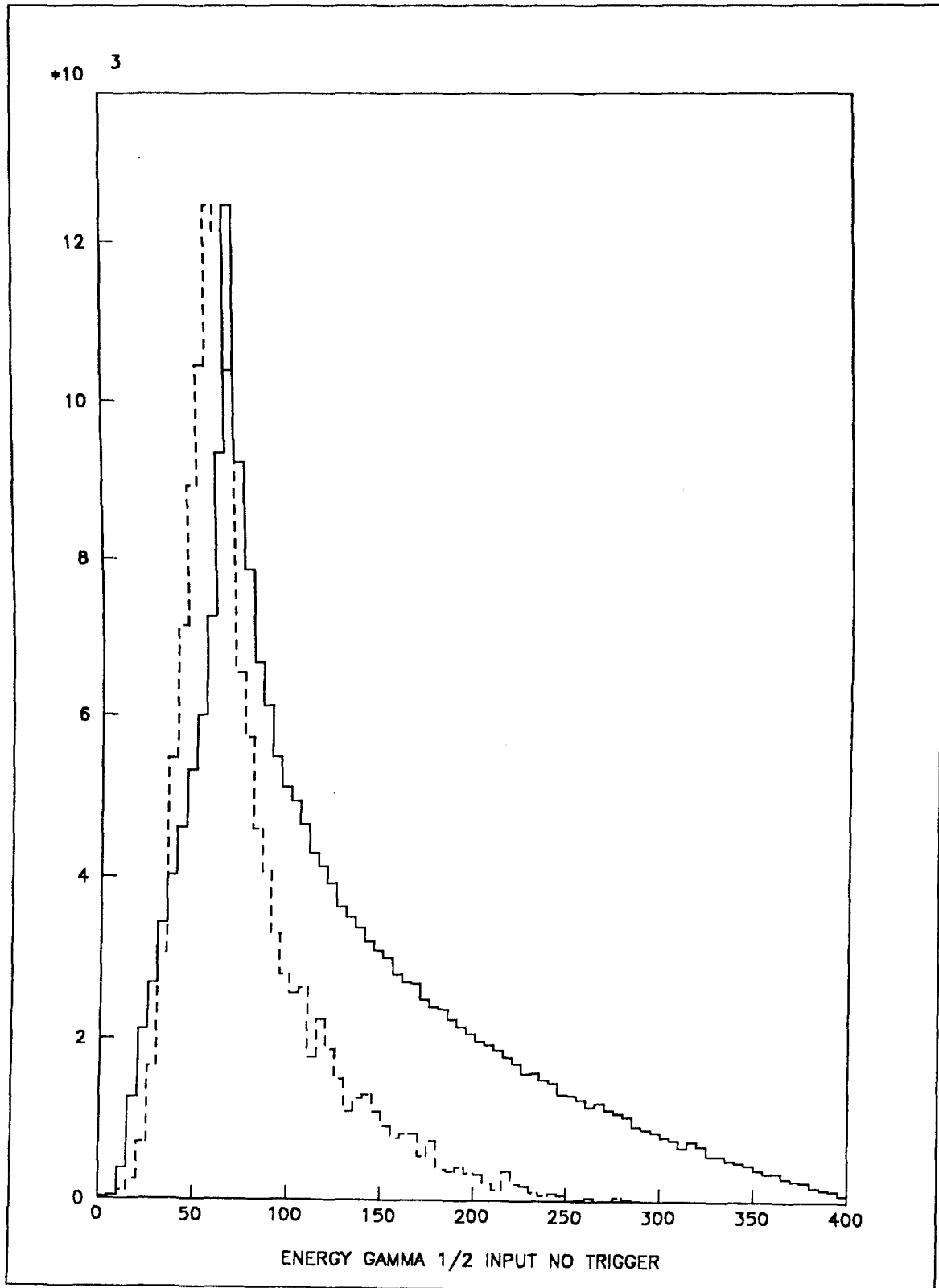


Abbildung 3.16: Das asymmetrischere Histogramm stellt die Energie-Verteilung aller erzeugten Photonen dar. Die andere Kurve enthält nur noch die Photonen, deren Signal zu einem Triggersignal geführt hat.

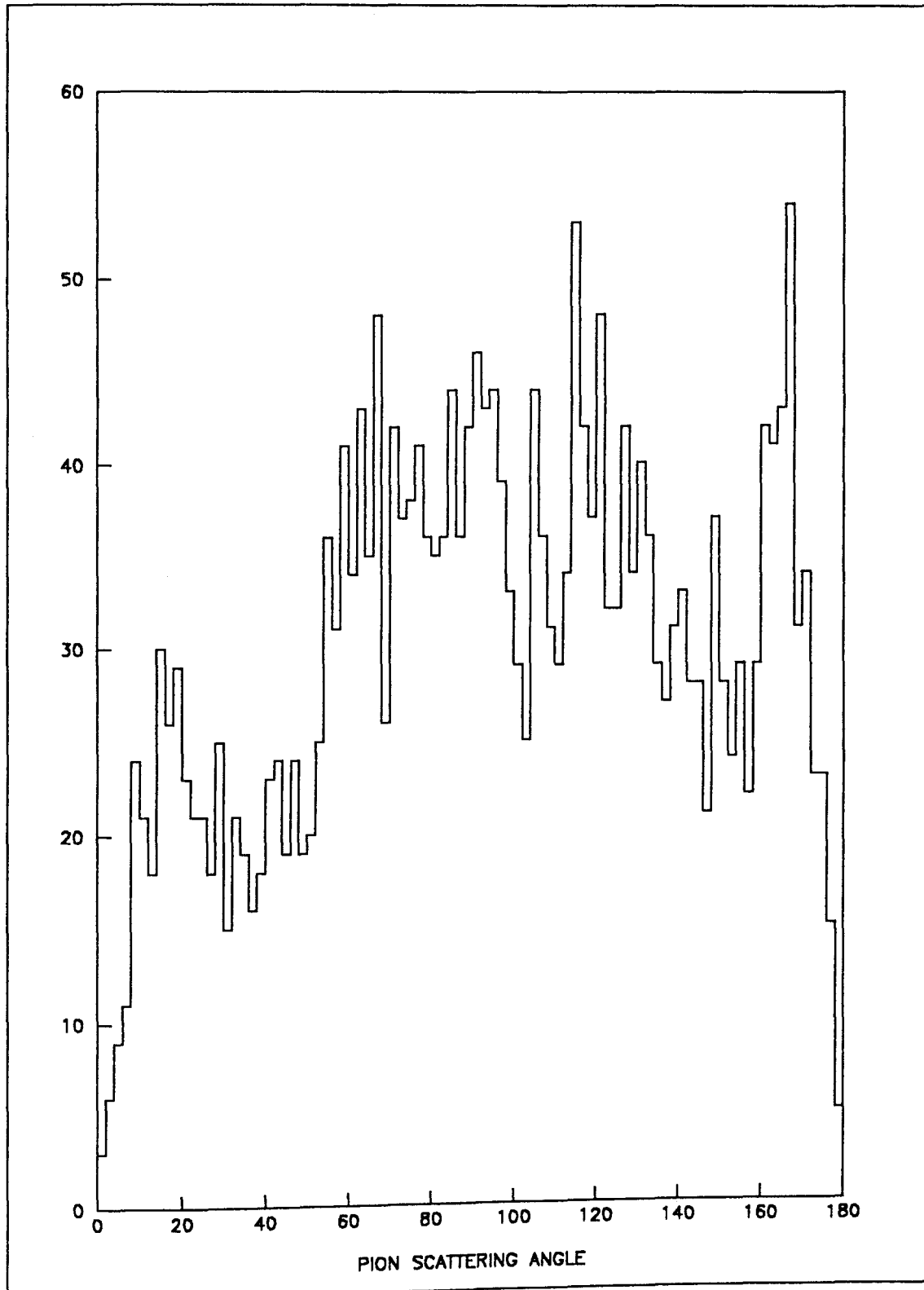


Abbildung 3.17: Winkelverteilung der nachgewiesenen Pionen.

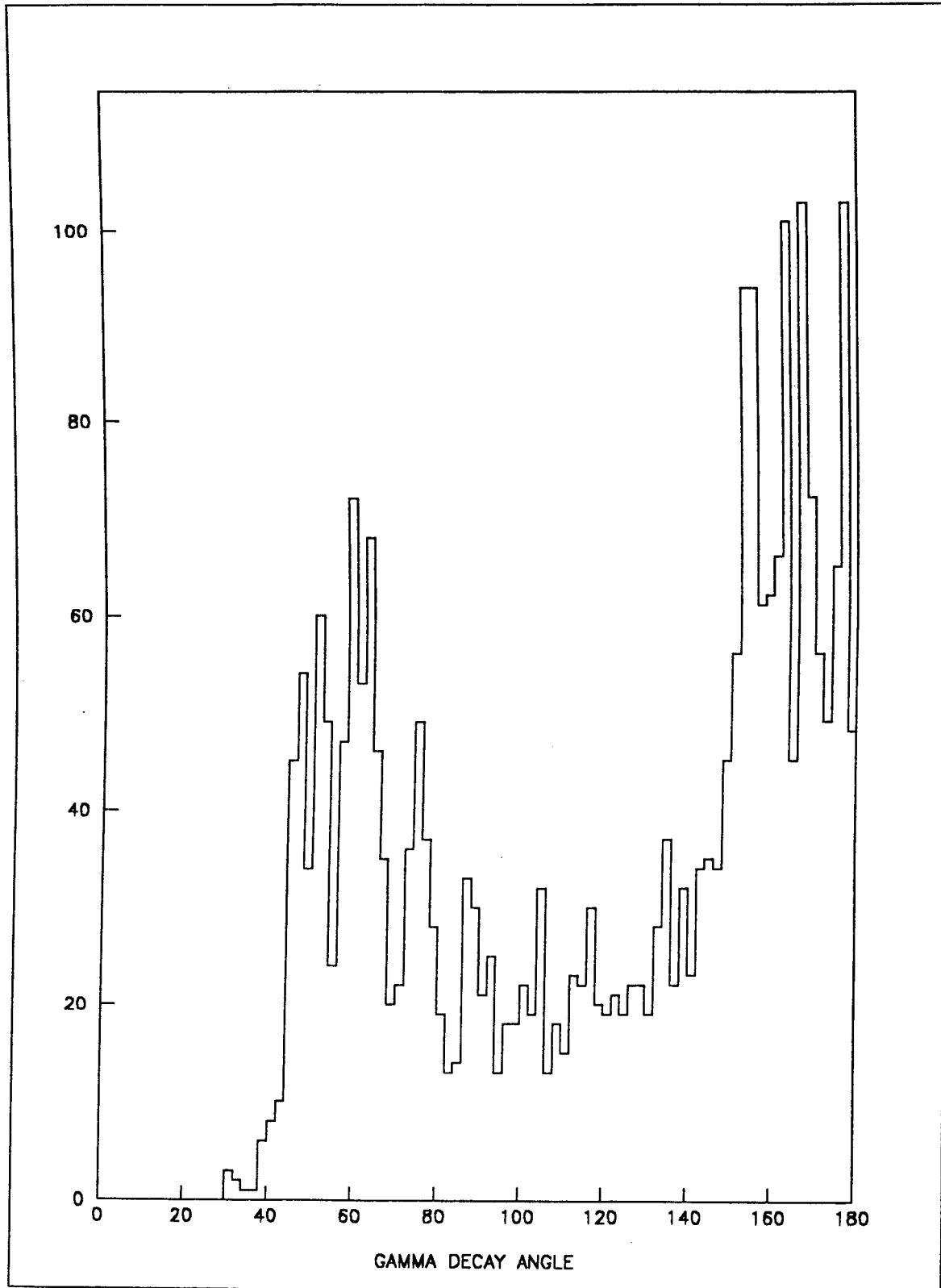


Abbildung 3.18: Öffnungswinkelverteilung der nachgewiesenen γ -Teilchen-Paare.

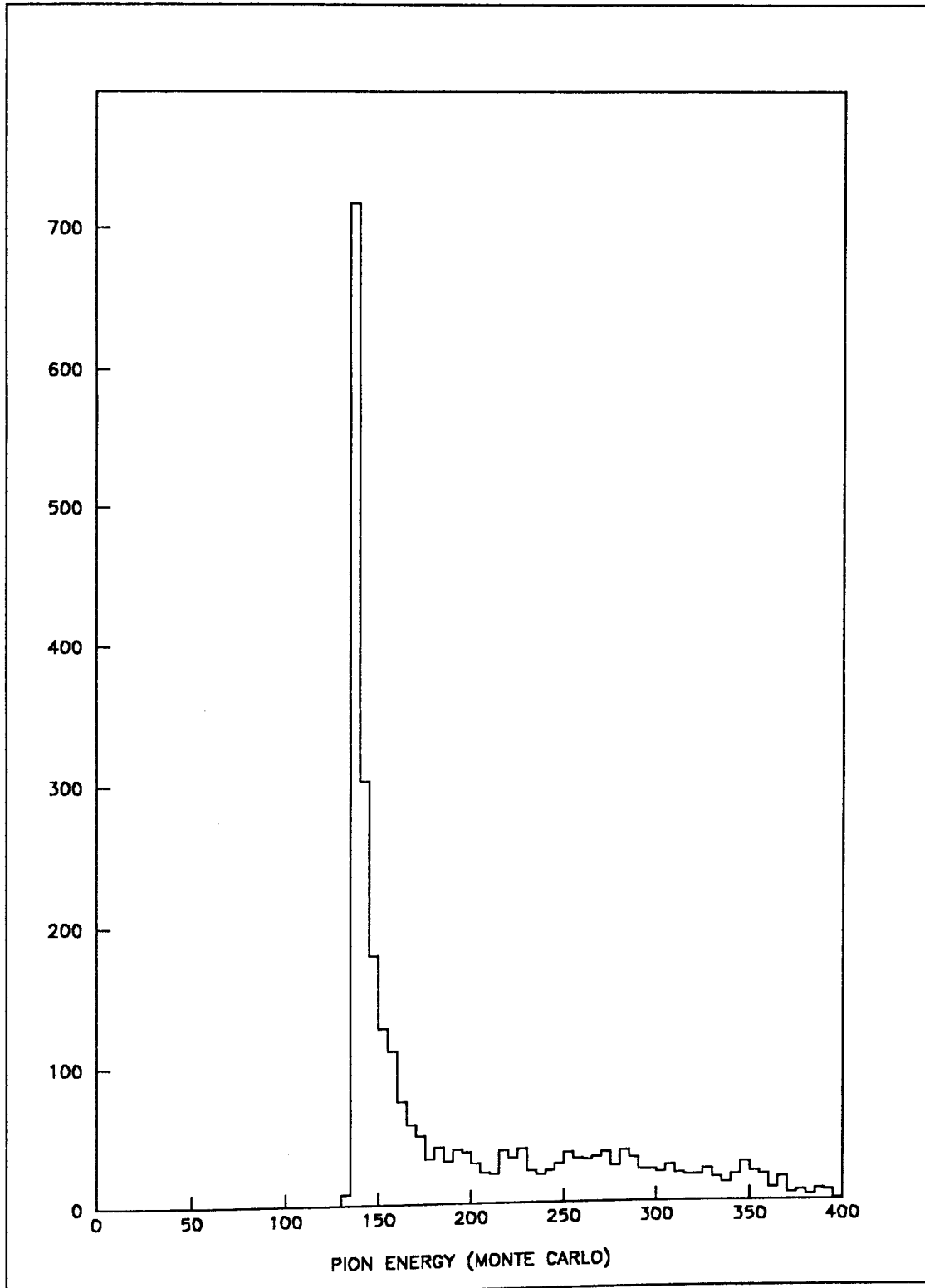


Abbildung 3.19: Energieverteilung der nachgewiesenen Pionen.

3.7 Isotrope und konstante Energieverteilung

Wenn man mit Hilfe eines Zufallszahlengenerators eine Stichprobe von zum Beispiel hunderttausend 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 Impulsvektoren zustande kommt. Das durchgezogene und breiteste der drei Histogramme gehört zu den Impulsvektoren 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.

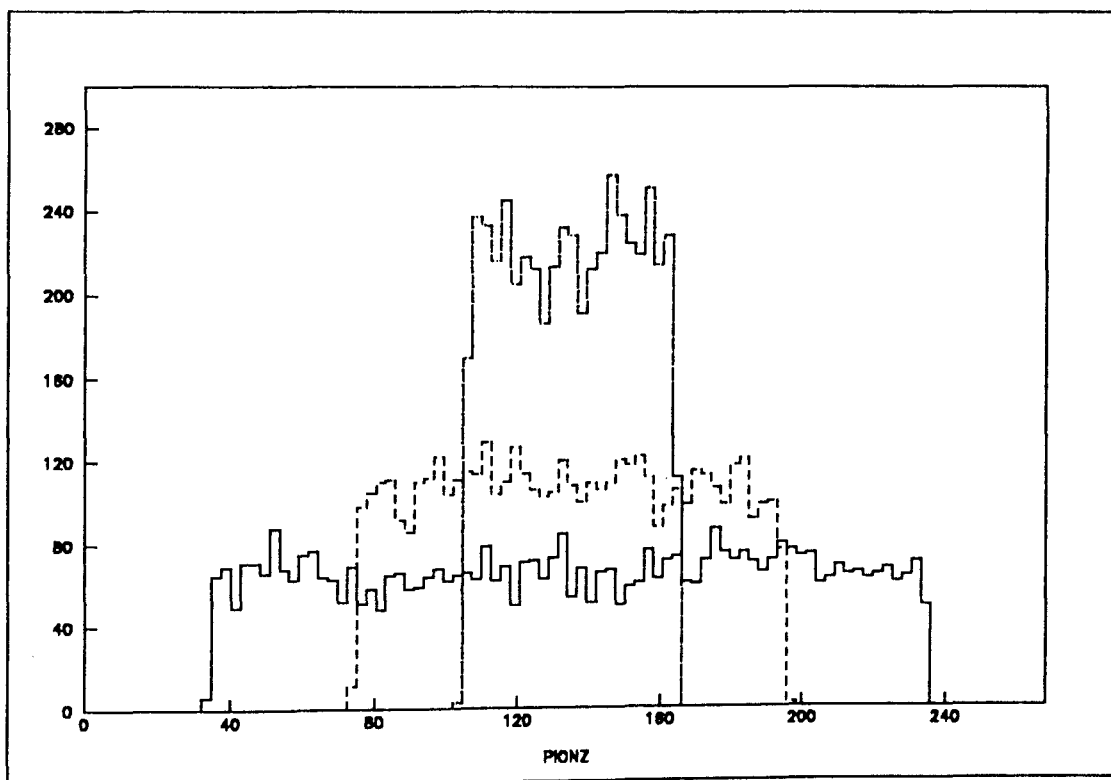


Abbildung 3.20: Verteilungen der Z-Komponente des Impulses für die Impulsbetragsintervalle $(30 \pm 1)\text{MeV}$, $(60 \pm 1)\text{MeV}$, $(100 \pm 1)\text{MeV}$.

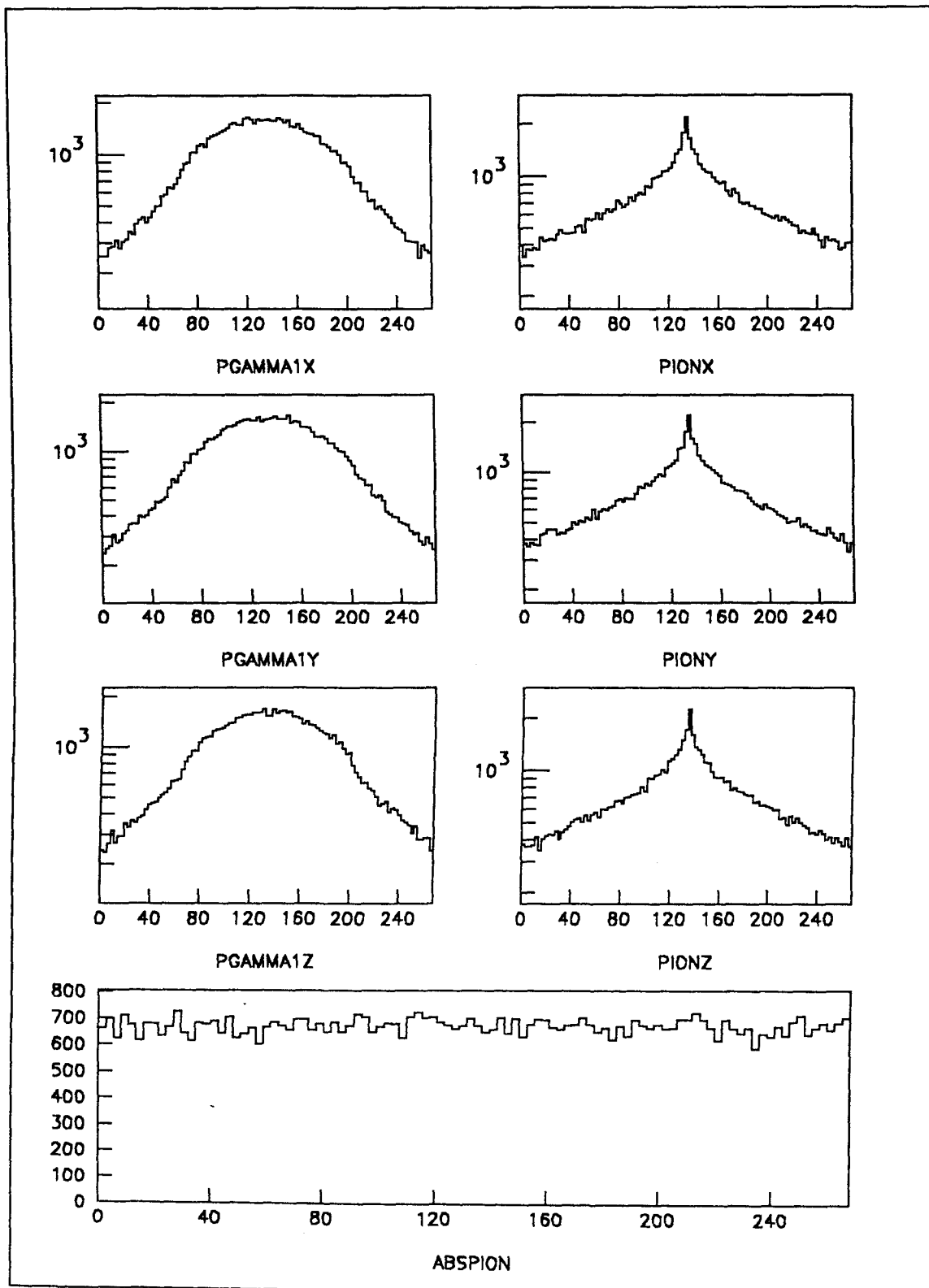


Abbildung 3.21: Verteilung der Pionen-Impulskomponenten und des Betrages. In der linken Spalte sind die Photonen-Impulse aufgetragen. (liniare Energieverteilung)

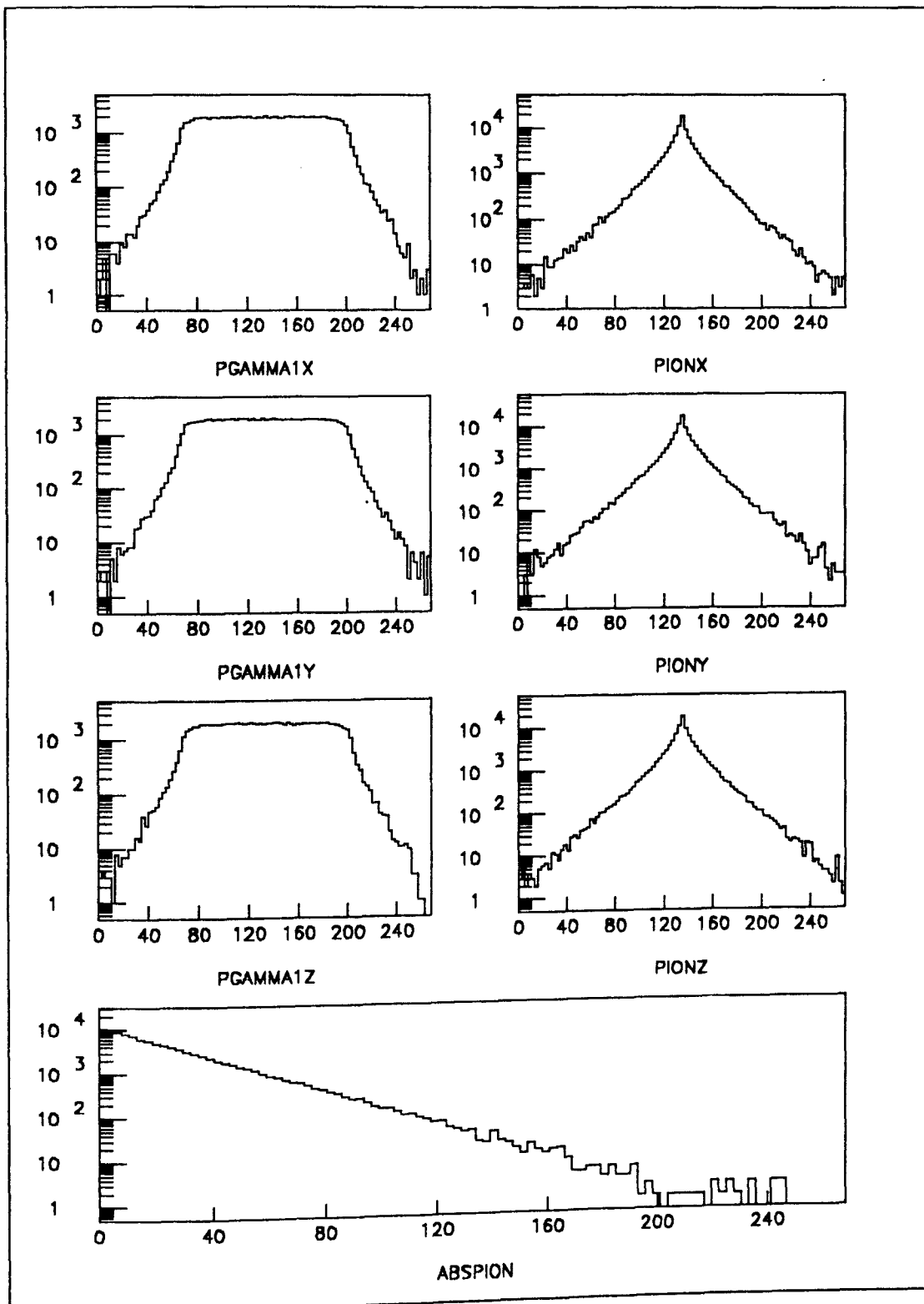


Abbildung 3.22: Verteilung der Pionen-Impuls-komponenten und des Betrages. In der linken Spalte sind die Photonen-Impulse aufgetragen. (exponentielle Energieverteilung)

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.

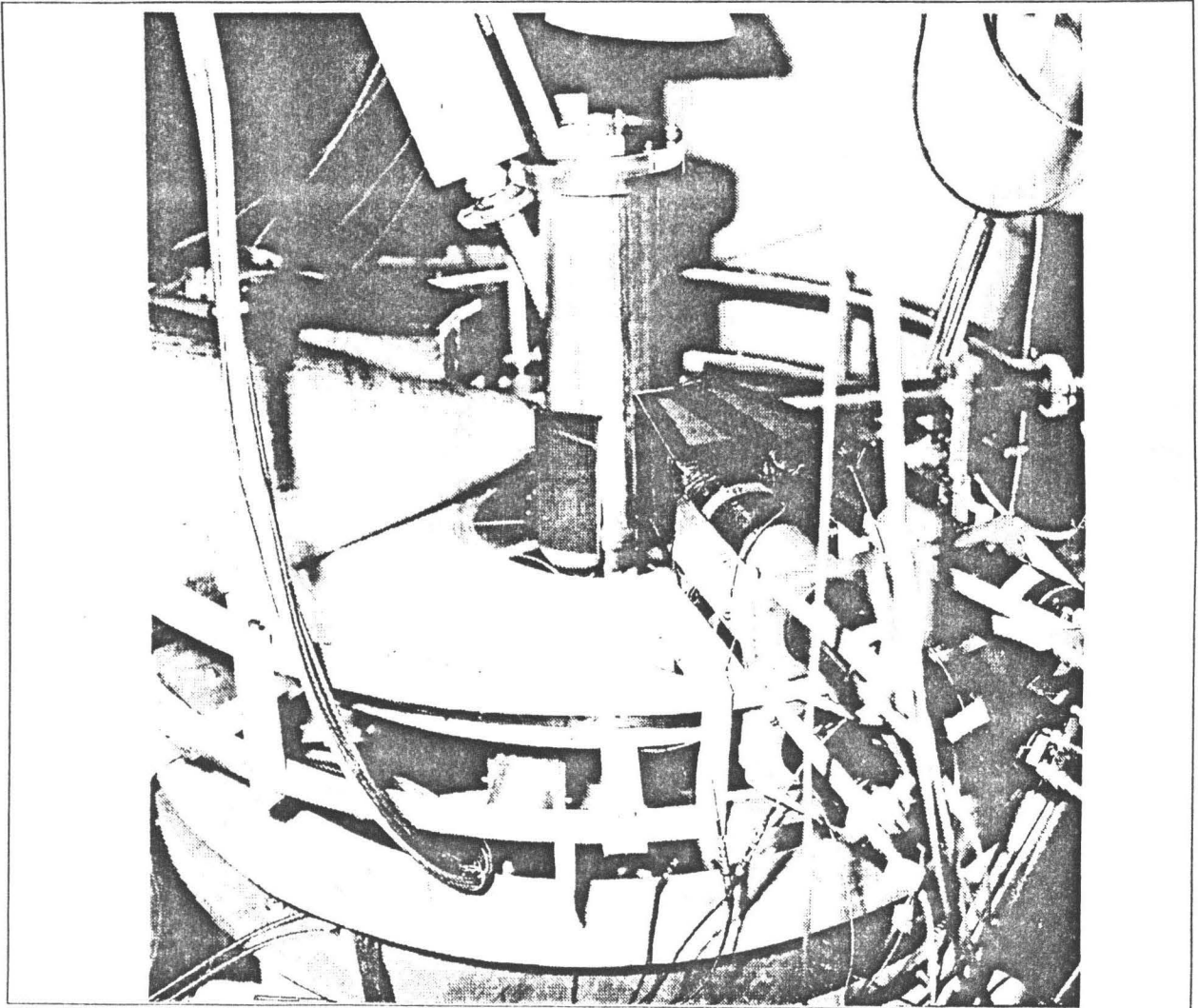


Abbildung 4.1: Zwei Teleskope des π^0 -Spekrometers am Strahlplatz

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]

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

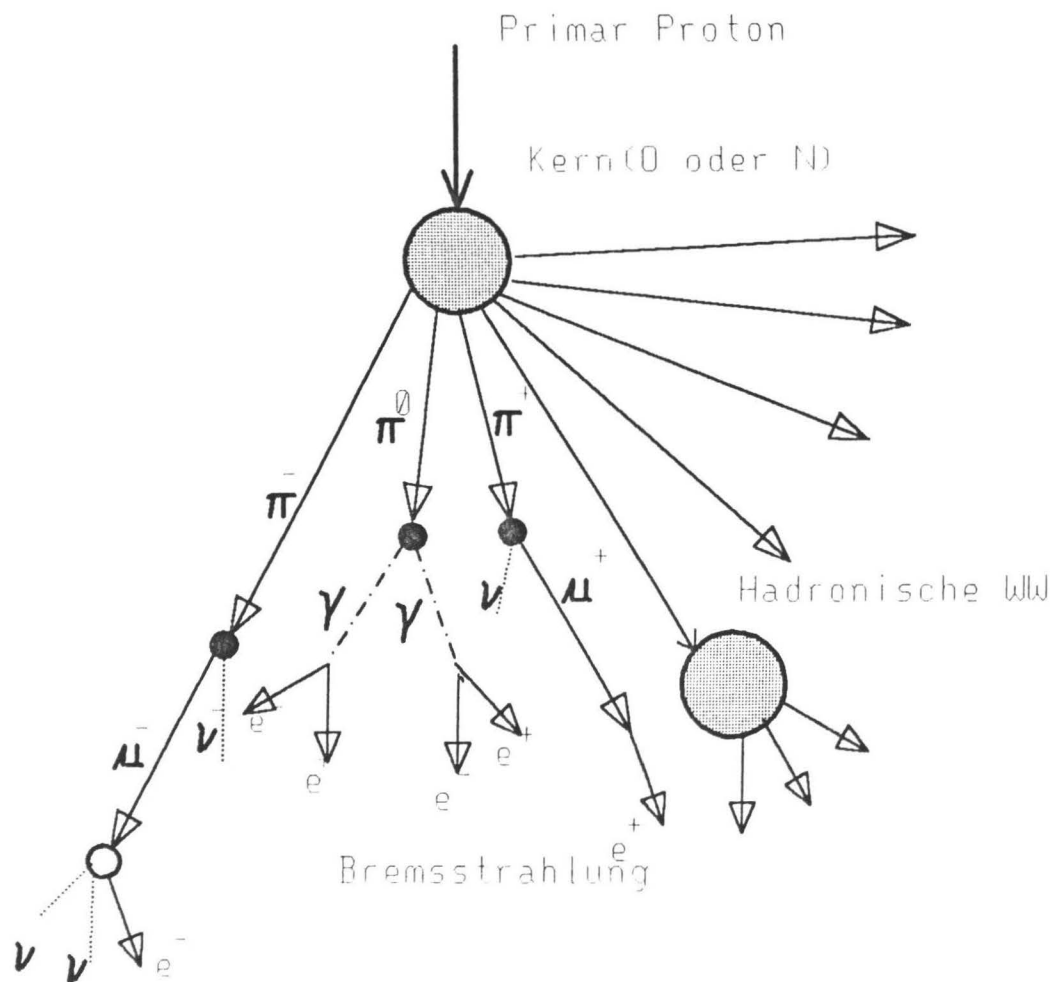


Abbildung 4.2: Ein einfallendes hochenergetisches Proton tritt in die Atmosphäre ein und erzeugt einen Kaskadenschauer.

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.

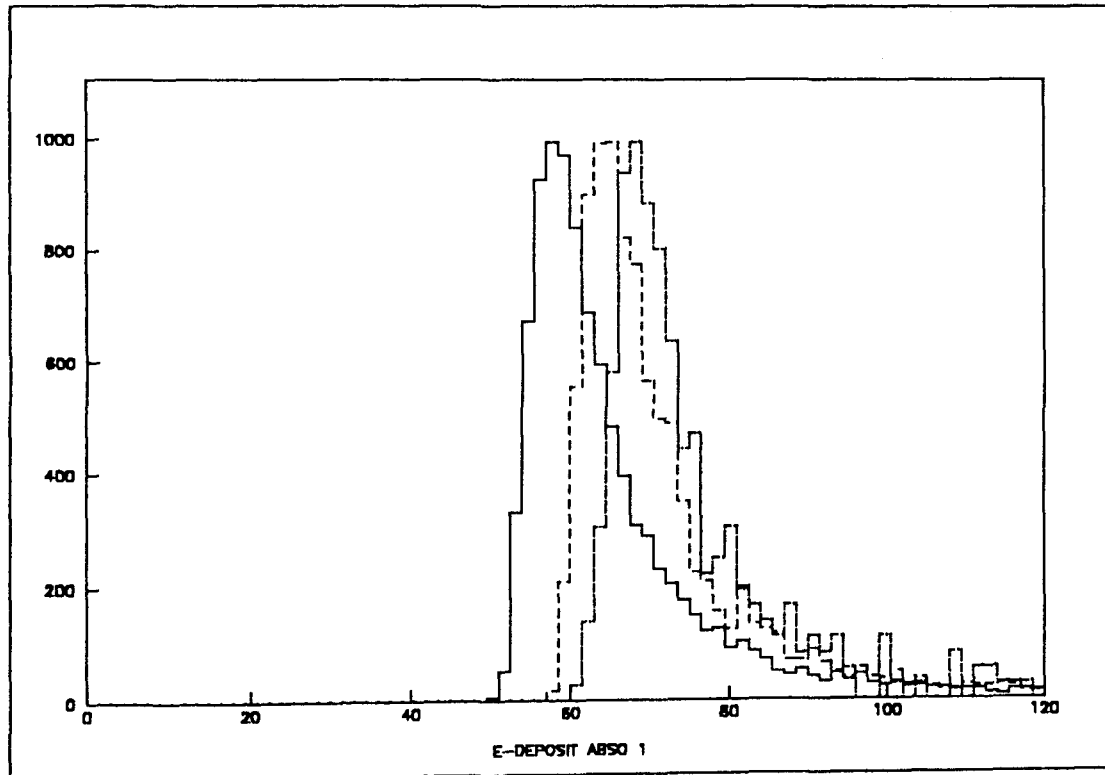


Abbildung 4.3: Energieverlust in 10 cm SF5 von kosmischen Myonen der Energie 1 GeV (linke Kurve), 10 GeV (getrichelt), 100 GeV (rechte Kurve).(Monte Carlo)

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

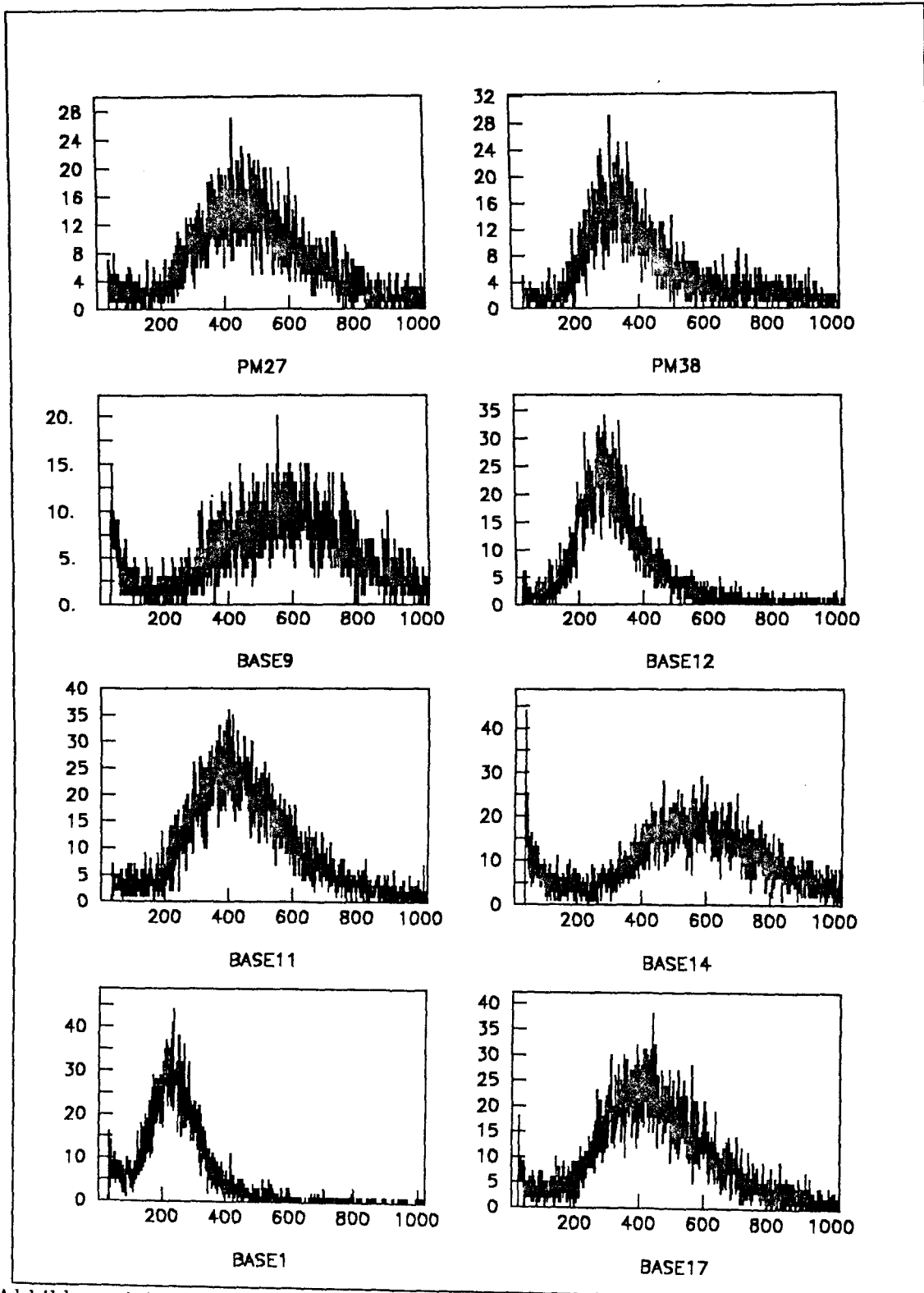


Abbildung 4.4: Meßergebnisse des Energieverlust in 10 cm SF5 von kosmischen Myonen.

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.

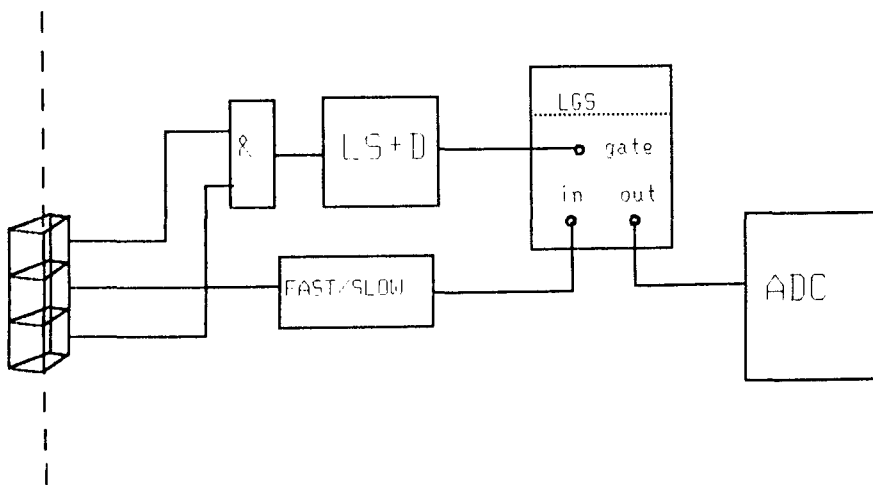


Abbildung 4.5: Meßelektronik zum Nachweis der kosmischen Myonen. LS=linear shaper, D=Delay, LGS=Linear Gate Stretcher

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.

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

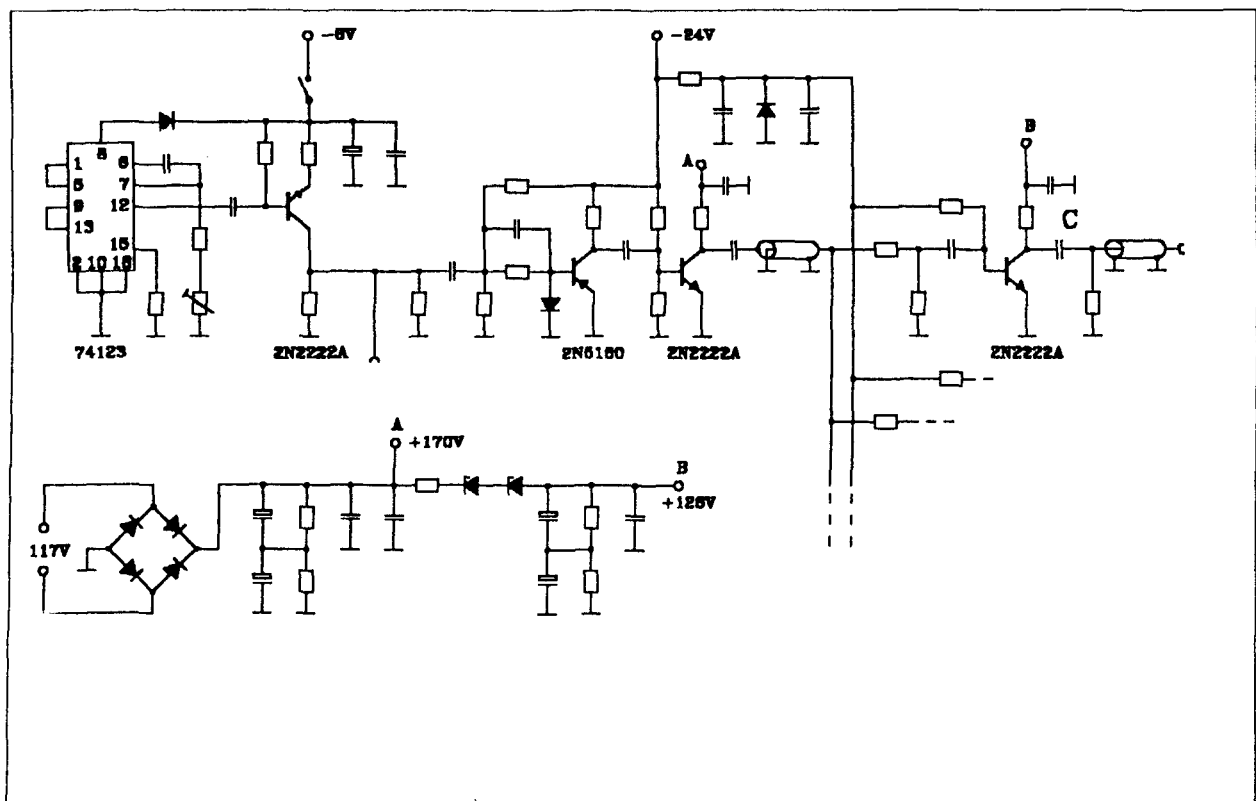


Abbildung 4.6: Schaltplan der LED-Pulsgeberelektronik

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.

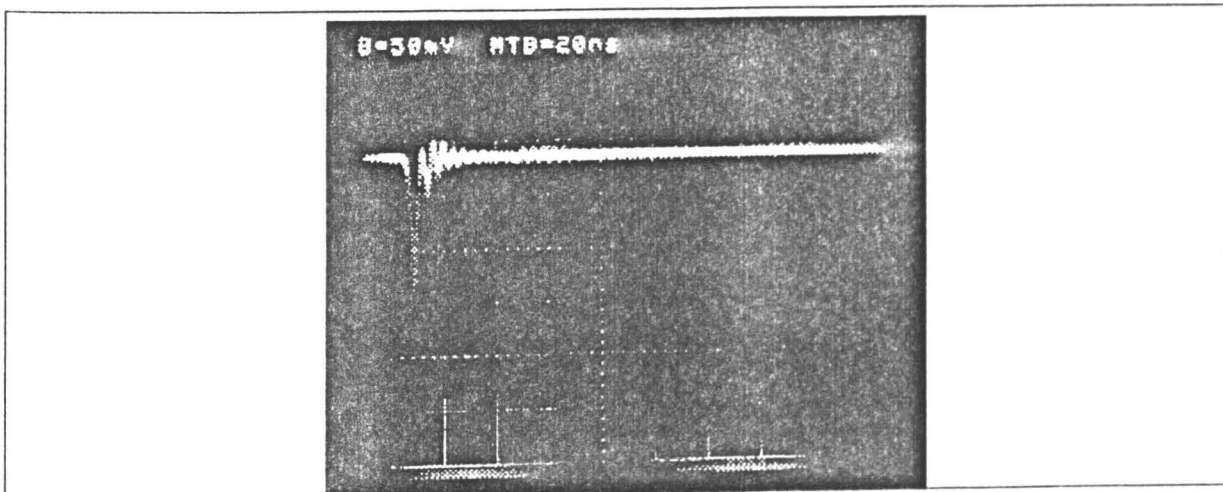


Abbildung 4.7: Signal am Photomultipliausgang bei 2 kVolt Betriebsspannung. Als Signalquelle wurde ein LED in den Lichtleiter eingekoppelt. Die LED wurde mit einem speziellen Pulsgeber (siehe Text) gespeist (PM EMI 9821B).

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 hervorsticht. Genau dieser Teil wurde in eine kegelförmige Aussparung im Lichtleiter zwischen Bleiglas und Photomultiplier eingeklebt.

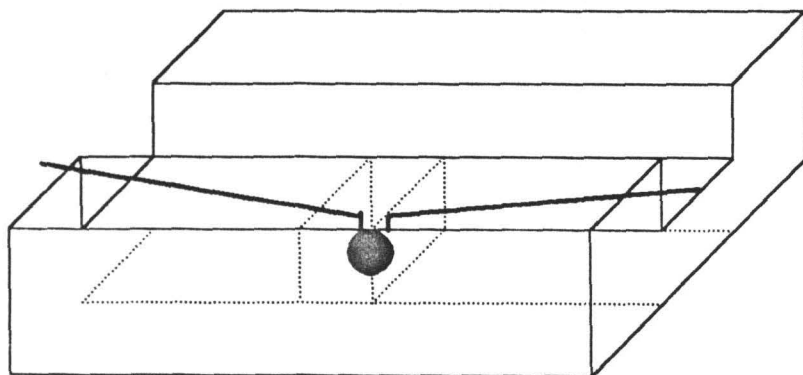


Abbildung 4.8: Halterung der Luminiszenzdiode für den Hochfrequenzbetrieb.

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

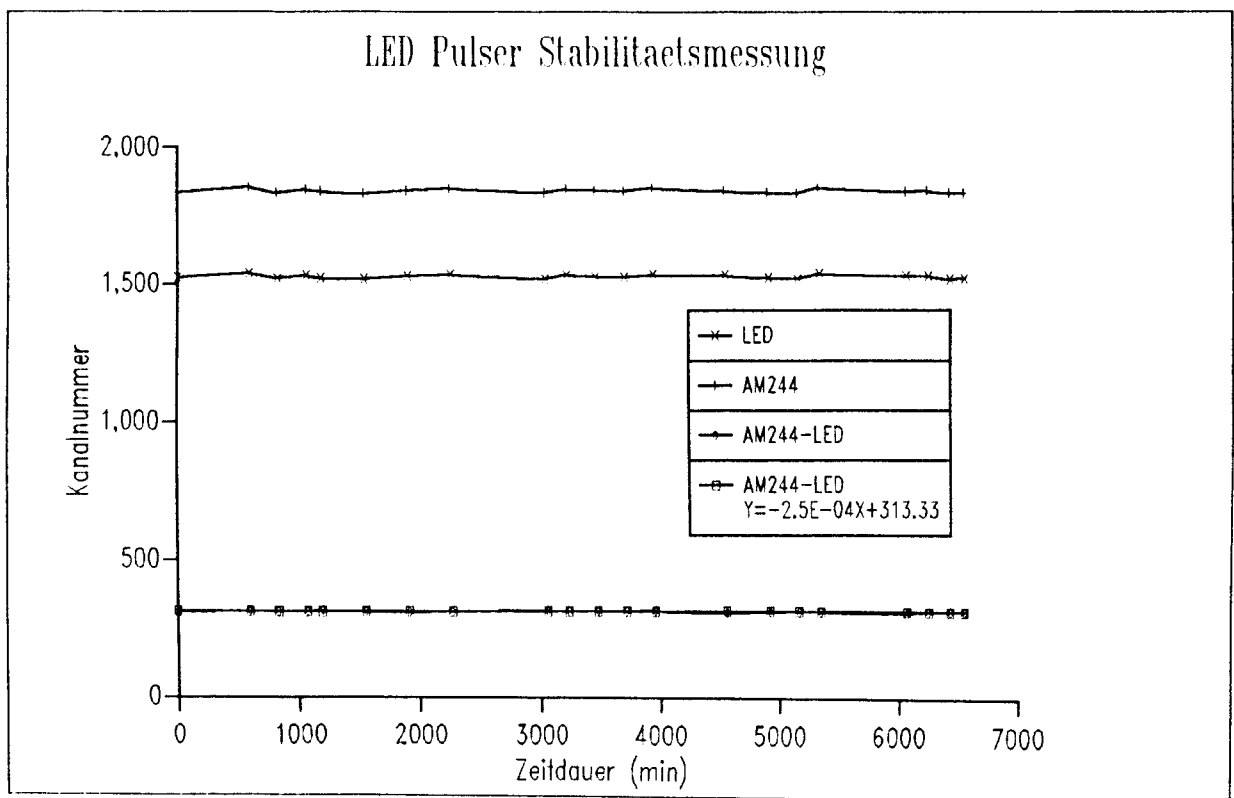


Abbildung 4.9: Vergleichsmessung zwischen LED-Pulsgeber und AM241-NaJ Pulsers

4.3 Vergleich diverser Bleiglasumantelungen

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 $10\ \mu m$ dicken Teflons verwendet wurden. Zusätzlich wurde das Teflon noch mit Aluminiumfolie umwickelt. Als Quelle wurde das Licht des Luminiszenzdiodenpulsgebers 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.

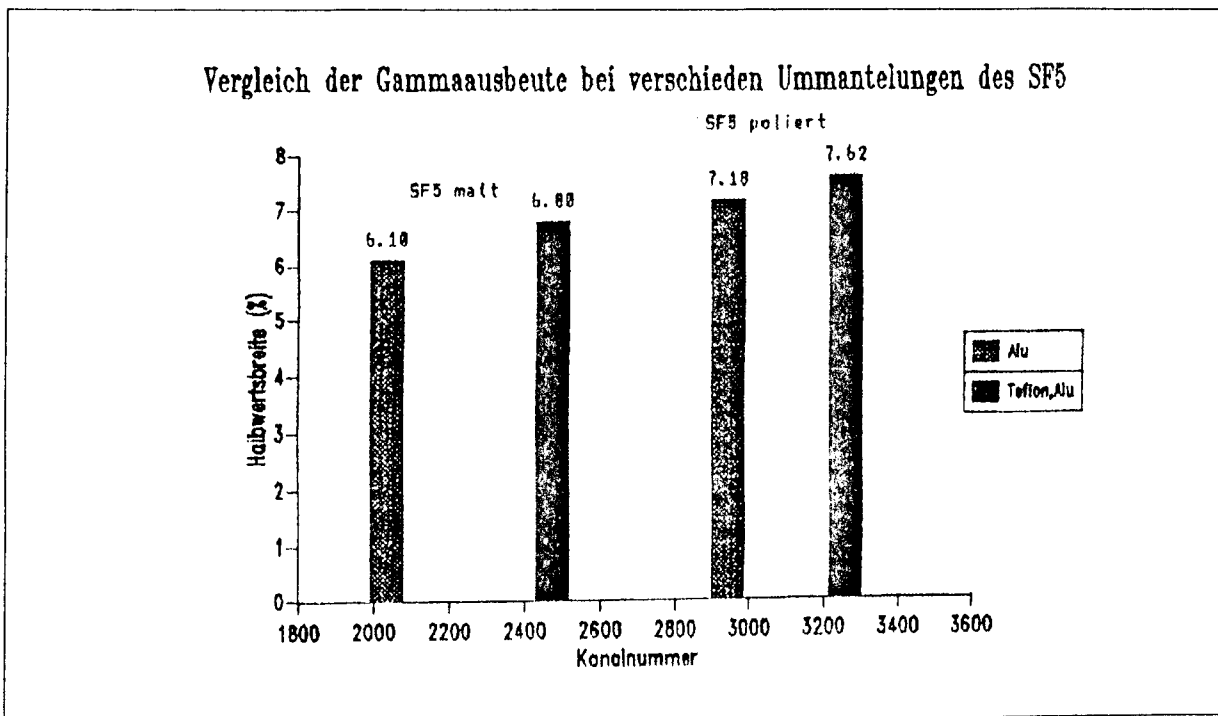


Abbildung 4.10: Messung der Lichtausbeute bei verschiedenen Modulverpackungen. Auf der Ordinate ist die Lichtausbeute und auf der Abszisse die relative Halbwertsbreite (FWHM) aufgetragen.

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
BGO		PM29	
AVARAGE	= 435	AVARAGE	= 146
STANDART DEVIVATION	= 102	STANDART DEVIVATION	= 45
CHI SQUARE	= 749	CHI SQUARE	= 257
BASE17		PM38	
AVARAGE	= 420	AVARAGE	= 342
STANDART DEVIVATION	= 150	STANDART DEVIVATION	= 96
CHI SQUARE	= 430	CHI SQUARE	= 459
BASE12		BASE14	
AVARAGE	= 292	AVARAGE	= 558
STANDART DEVIVATION	= 87	STANDART DEVIVATION	= 193
CHI SQUARE	= 463	CHI SQUARE	= 433
BASE1			
AVARAGE	= 233		
STANDART DEVIVATION	= 77		
CHI SQUARE	= 575		
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*randm(nix)
rho=acos(1-2*randm(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*randm(nix)
rho=acos(1-2*randm(nix))
psi=2*pi*randm(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)
  pg1(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 HBGN                                             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          MPIOH=134.9642                                             PIL00500
C          CALL HBOOK1(13,'PGAMMA1X /MEV <INPUT NO TRIGGER>$',100,0.,2*MPIOH)PIL00510
C          CALL HBOOK1(14,'PGAMMA1Y /MEV <INPUT NO TRIGGER>$',100,0.,2*MPIOH)PIL00520
C          CALL HBOOK1(15,'PGAMMA1Z /MEV <INPUT NO TRIGGER>$',100,0.,2*MPIOH)PIL00530
C          CALL HBOOK1(16,'PIOHX /MEV <INPUT NO TRIGGER>$',100,0.,2*MPIOH) PIL00540
C          CALL HBOOK1(17,'PIOHY /MEV <INPUT NO TRIGGER>$',100,0.,2*MPIOH) PIL00550
C          CALL HBOOK1(18,'PIOHZ /MEV <INPUT NO TRIGGER>$',100,0.,2*MPIOH) 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$',100,0.,10.)PIL00700
CALL HBOOK1(29,'DEMUG/PERCENT$',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 PI0NEN 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),LPL0T(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	PIL01120
C	define user data cards, read data cards, initialize data str	PIL01130
	CALL FFKEY('XCUT',XCUT,1,'REAL')	PIL01140
	CALL FFKEY('CTHI',CUTMIN,1,'REAL')	PIL01150
	CALL FFKEY('CTHA',CUTMAX,1,'REAL')	PIL01160
	CALL FFKEY('MODE',ICUTYP,1,'INTEGER')	PIL01170
	CALL GFFGO	PIL01180
C	INITIALIZE DYNAMIC CORE DIVISION	PIL01190
	CALL GZINIT	PIL01200
C	DEFINE PATICLE CHARACTERISTICS	PIL01210
	CALL GPART	PIL01220
C	INITIALIZE MATERIAL CONSTANTS	PIL01230
	CALL GHATE	PIL01240
C	USER CODE	PIL01250
	CALL GUTMED	PIL01260
	CALL GUGEO	PIL01270
C	ALLOCATE DETECTOR VOLUMES TO SETS AND DEFINE BASIC STORAGE PARMS	PIL01280
	CALL UDET	PIL01290
C	BOOK STANDARD HISTOGRAMMS AS REQUIRED BY USER VIA FFCARD HSTA	PIL01300
	CALL GBHSTA	PIL01310
C	TO COMPUTE ENERGY LOSS AND CROSS SECTION TABELS AND STORE THEM	PIL01320
C	IN THE DTA STRUCTURE JMATE	PIL01330
	CALL GPHYSI	PIL01340
C	INITIALIZE DRAWING PACKAGE	PIL01350
	CALL GDINIT	PIL01360
C	Draw one detector picture into viewbank 1	PIL01370
	DATA ASFI /13*1/	PIL01380
*		PIL01390
*	Now set whatever we want	PIL01400
*		PIL01410
	CALL GSTXFP(17,2)	PIL01420
	CALL GSASF (ASFI)	PIL01430
C		PIL01440
	CALL GDOPEH(1)	PIL01450
	CALL GSATT('CON1','COLO',7)	PIL01460
	CALL GSATT('CON2','COLO',7)	PIL01470
	CALL GSATT('SAB1','COLO',7)	PIL01480
	CALL GSATT('SAB2','COLO',7)	PIL01490
	CALL GSATT('SAB3','COLO',7)	PIL01500
	CALL GSATT('SAB4','COLO',7)	PIL01510
	CALL GDRAW ('HALL ',90.,90.,0.,10.,10.,.20,.20)	PIL01520
	CALL GDCLOS	PIL01530
C	Draw one detector picture into viewbank 2	PIL01540
	CALL GDOPEH(2)	PIL01550
	CALL GDRAW ('HALL ',00.,00.,0.,10.,10.,.20,.20)	PIL01560
	CALL GDCLOS	PIL01570
C	Draw one detector picture into viewbank 3	PIL01580

```

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,NUMITS,LUNITS(5)
      INTEGER LIN,LOUT,NUMITS,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),LPLLOT(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 TLJLW
CHARACTER*10 BLKLIW
CHARACTER*10 TICKHK
CHARACTER*1 BLANK,TICK
C. -----define tickmark and fill blanks-----
BLANK=CHAR(0)
TICK=CHAR(127)
DO 50 I=1,10
BLKLIW(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
TICKLW(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=====PILO0010
C
C   SUBROUTINE GUTHEd
C   7-----PILO0040
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   -----PILO0090
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   STHIN = 0.1        minimum step
C   UBUFF = 0.         additional user parameters
C   NWBUFF = 0         number of UBUFF parameters
C
C   ISENS0 = 0
C   ISENS1 = 1
C   IFIELD = 0
C   FIELDH = 0.
C   THAXFD = 10.0
C   DHAXMS = 0.5
C   DEEMAX = 0.2
C   EPSIL = 0.005
C   STHIN = 0.1
C   UBUFF = 0.
C   NWBUF = 0
C
C           15=Air
C
C   CALL GSTHEd( 1,'HALL $',15,ISENS0, IFIELD,FIELDH,THAXFD,
*           DHAXMS,DEEMAX, EPSIL, STHIN, 0 , 0 )

```

PILO2510
 PILO2520
 PILO2530
 PILO2540
 PILO2550
 PILO2560
 PILO2570
 PILO2580
 PILO2590

 PILO0010
 PILO0020
 PILO0030
 PILO0040
 PILO0050
 PILO0060
 PILO0070
 PILO0080
 PILO0090
 PILO0100
 PILO0110
 PILO0120
 PILO0130
 PILO0140
 PILO0150
 PILO0160
 PILO0170
 PILO0180
 PILO0190
 PILO0200
 PILO0210
 PILO0220
 PILO0230
 PILO0240
 PILO0250
 PILO0260
 PILO0270
 PILO0280
 PILO0290
 PILO0300
 PILO0310
 PILO0320
 PILO0330
 PILO0340
 PILO0350
 PILO0360

```

C
DMAXMS = 0.5
DEEMAX = 0.2
EPSIL = 0.01
STMIN = 0.1
C
18=SF5
CALL GSTMED (2,'LEAD GLASS$', 18,ISENS1
+ ,IFIELD,FIELDH,TMAXFD,DMAXMS,DEEMAX,EPSIL,STMIN,UBUFF,NWBUFF)
CALL GPTMED(0)
RETURN
END
C=====
C
SUBROUTINE GUGEO
C. 7-----
C. I
C. I
C. -----
C
DIMENSION PHALL(3)
DIMENSION ASF(5), ZSF(5), WSF(5)
DATA PHALL /35., 35.,35./
C
C          Lead glass mixture parameters
C
C          Pb      K      Na      Si      O
DATA ASF /207.2 , 39.0983, 22.98977, 28.0855, 15.9994/
DATA ZSF / 82. , 19. , 11. , 14. , 8. /
DATA WSF / 0.516, 0.033 , 0.015 , 0.180 , 0.256/
C
CALL GSHIXT (18,'SF5$', 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 (volnme 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.)
        XCEN = -RABS * SIN(3.141592/180.*(ANGLE+OFFSET))
        ZCEN = -RABS * COS(3.141592/180.*(ANGLE+OFFSET))
        CALL GSPOS ('SAB3',I,'HALL',
+           XCEN,-PSABS(3),ZCEN,I+20,'ONLY')
        CALL GSPOS ('SAB4',I,'HALL',
+           XCEN, PSABS(3),ZCEN,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 NAMESV(2)
CHARACTER*4 NAMESH(1)
DIMENSION NBITSV(2),NBITSH(1),ORIG(1),FACT(1)
-C
DATA NAMESV/'HALL','CON1'/
DATA NBITSV/2*3/
DATA NAMESH/'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) PILO2740
CALL GSDETH('ECAL','SAB2',1,NAMESH,NBITSH,ORIG,FACT) PILO2750
CALL GSDETH('ECAL','SAB3',1,NAMESH,NBITSH,ORIG,FACT) PILO2760
CALL GSDETH('ECAL','SAB4',1,NAMESH,NBITSH,ORIG,FACT) PILO2770
CALL GSDETH('DELE','CON1',1,NAMESH,NBITSH,ORIG,FACT) PILO2780
CALL GSDETH('DELE','CON2',1,NAMESH,NBITSH,ORIG,FACT) PILO2790
C.                                     PILO2800
RETURN                                             PILO2810
END
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 PILO0130
+      ,NAPART(5),AHASS,CHARGE,TLIFE,VERT(3),PVERT(4),IPAOLD PILO0140
C.                                     PILO0150
COMMON/GCFLAG/IDEBUG,IDEHIN,IDEMAX,ITEST,IDRUN,IDEVT,IEORUN PILO0160
+      ,IEOTRI,IEVENT,ISWIT(10),IFINIT(20),NEVENT,WRNDH(2) PILO0170
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,IDEHAX,ITEST,IDRUN,IDEVT,IEORUN *PIL00660
+ ,IEOTRI,IEVENT,ISWIT(10),IFINIT(20),NEVENT,NRNDH(2) *PIL00670
C. *PIL00680
C. COMMON/GCTHED/NUHED,NATHED(5),ISVOL,IFIELD,FIELDH,THAXFD,DHAXHS *PIL00690
+ ,DEEMAX,EPSIL,STHIN,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,SHPHYS *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
*****
*
*       Labelled COMMON blocks related to section TRAK
*       -----
*
*   COMMON /GCJLOC/  NJLOC(2),JTH, JHA, 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, NAMATE(5), A, Z, DENS, RADL, ABSL
* NHAT      Current material number
* NAMATE    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/ IUSET, IUDET, ISET, IDET, IDTYPE, NVNAME,
* NUMBV(10)
* IUSET     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
* NVNAME    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, NATHED(5), ISVOL, IFIELD, FIELDH,
*      +          THAXFD, DHAXHS, DEEHAX, EPSIL, STMH,
*      +          CFIELD, CHULS, IUPD, ISTPAR, NUHOLD
* NUHED     Current tracking medium number
* NATHED    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
* STMH     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
*                                                     *PILO1800
*                                                     *PILO1810
*          COMMON /GCTRAK/ VECT(7), GETOT, GEKIN, VOUT(7), NHEC, *PILO1820
*          +          LHEC(30), NAHEC(30), NSTEP, MAXNST, DESTEP, *PILO1830
*          +          SAFETY, SLENG, STEP, SNEXT, SFIELD, SHPHYS, *PILO1840
*          +          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
* NHEC      Number of mechanisms for current step              *PILO1910
* LHEC      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,         *PILO2060
*           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,EBREH *PILO2150
          COMMON/GAMMA/PX1,PY1,PZ1,PX2,PY2,PZ2,E11,E22 *PILO2160
          CHARACTER*4 IUSET,IUDET,NAHEC,NAHES *PILO2170
          character*1 ch *PILO2180
          CALL GSKING(0) *PILO2190
          *PILO2200
          *PILO2210

```

```

C      calculate total energy deposit for one event                                PILO2220
C                                                                                   PILO2230
MPIOH=134.9642                                                                    PILO2240
IF (NGKINE.GT.0)THEN                                                                PILO2250
  IF((IPART.EQ.7).AND.(GKIN(5,1).EQ.1))THEN                                        PILO2260
    PX1=GKIN(1,1)                                                                    PILO2270
    PY1=GKIN(2,1)                                                                    PILO2280
    PZ1=GKIN(3,1)                                                                    PILO2290
    E11=GKIN(4,1)                                                                    PILO2300
    PX2=GKIN(1,2)                                                                    PILO2310
    PY2=GKIN(2,2)                                                                    PILO2320
    PZ2=GKIN(3,2)                                                                    PILO2330
    E22=GKIN(4,2)                                                                    PILO2340
    CALL HFILL(13,1000.*PX1+MPIOH,1.)                                               PILO2350
%----->                                                                           <-----
%----->                                                                           <-----
    CALL HFILL(14,1000.*PY1+MPIOH,1.)                                               PILO2360
    CALL HFILL(15,1000.*PZ1+MPIOH,1.)                                               PILO2370
    CALL HFILL(19,E22*1000.,1.)                                                     PILO2380
    CALL HFILL(19,E11*1000.,1.)                                                     PILO2390
    CALL HFILL(21,E11*1000.,1.)                                                     PILO2400
    CALL HFILL(22,E22*1000.,1.)                                                     PILO2410
    IF(IDEBUG*ISWIT(2).EQ.1) THEN                                                  PILO2420
      WRITE(9,*)'IPART=',IPART,'SECPART=',GKIN(5,1),GKIN(5,2)                   PILO2430
      WRITE(9,*)'PX OF 1ST SECONDARY','PY ', 'PZ ', 'E '                          PILO2440
      WRITE(9,*)GKIN(1,1),GKIN(2,1),GKIN(3,1),GKIN(4,1)                         PILO2450
      WRITE(9,*)'PX OF 2ST SECONDARY','PY ', 'PZ ', 'E '                          PILO2460
      WRITE(9,*)GKIN(1,2),GKIN(2,2),GKIN(3,2),GKIN(4,2)                         PILO2470
    ENDIF                                                                            PILO2480
  ENDIF                                                                              PILO2490
ENDIF                                                                                PILO2500
C                                                                                   PILO2510
IF(IDEBUG*ISWIT(9).EQ.1)then                                                       PILO2520
  do 1 i=1,nmec                                                                      PILO2530
1    write(*,*)lmec(i),namec(lmec(i)), 'part',ipart                               PILO2540
    if (istop.eq.1)then                                                             PILO2550
      write(*,*)destep,'-- inwvol---',inwvol,'-identity-loss'                   PILO2560
    endif                                                                            PILO2570
    if (istop.eq.2)then                                                             PILO2580
      write(*,*)destep,'-- inwvol---',inwvol,'-particle stopped'                 PILO2590
    endif                                                                            PILO2600
    if (istop.eq.0)then                                                             PILO2610
      write(*,*)destep,'-- inwvol---',inwvol,'-----'                           PILO2620
    endif                                                                            PILO2630
  endif                                                                              PILO2640
endif                                                                                PILO2650
C                                                                                   PILO2660
C *** Energy deposited by different tracking types

```

		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
	electron / positron tracking	PIL02740
C	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
	neutron tracking	PIL02820
C	DENEU=DENEU+DESTEP	PIL02830
	GOTO 2	PIL02840
	ENDIF	PIL02850
	IF(ITRTYP.EQ.4)THEN	PIL02860
	hadron tracking	PIL02870
C	DEHAD=DEHAD+DESTEP	PIL02880
	GOTO 2	PIL02890
	ENDIF	PIL02900
	IF(ITRTYP.EQ.5)THEN	PIL02910
	muon tracking	PIL02920
C	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, IEBRUM
+      , 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/ DEGAN, 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.
DEGAN=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,DEHUO,EBREM
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,NRANDM(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

```

CHARACTER*4 NSA1,NSA2                                GU000330
DATA NUHVS/NV*0/                                     GU000340
DATA LLL/0/                                           GU000350
DATA ZAXIS/0.,0.,.1/                                 GU000360
ITRS=0                                                GU000370
C. *****GU000380
C. * SUBROUTINE GFHITS(IUSET,IUDET,NVDIM,NHDIM,NHMAX,ITRS,NUMVS *GU000390
C. * +,          ITRA,NUMBV,HITS,NHITS)                *GU000400
C. *                                                    *GU000410
C. *                                                    *GU000420
C. *                                                    *GU000430
C. * Returns the hits produced by track ITRS (if 0, by all *GU000440
C. * tracks) in the physical volume specified by the list NUHVS *GU000450
C. * with generic volume name IUDET belonging to set IUSET.   *GU000460
C. * IUSET      user set identifier                       *GU000470
C. * IUDET      user detector identifier (name of the       *GU000480
C. *            corresponding sensitive volume)            *GU000490
C. * NVDIM     1st dimension of NUMBV and NUHVS (usually =NV, the *GU000500
C. *            number of volume descriptors which permit to identify *GU000510
C. *            a given detector, eventually smaller than NV) *GU000520
C. * NHDIM     1st dimension of array HITS (argument NH of   *GU000530
C. *            GSDETH)                                    *GU000540
C. * NHMAX     maximum number of hits to be returned       *GU000550
C. * ITRS      number of the selected track. If ITRS=0, all *GU000560
C. *            tracks are taken                           *GU000570
C. * NUHVS     is a 1-Dim array that must contain on input the *GU000580
C. *            geometric path of the detector volume to be *GU000590
C. *            selected. All 0 interpreted as 'all physical *GU000600
C. *            volumes with generic names IUDET'          *GU000610
C. * ITRA      is a 1-Dim array that will contain on output for *GU000620
C. *            each hit the number of the track which has *GU000630
C. *            produced it                                *GU000640
C. * NUMBV     2-Dim array that will contain on output for each *GU000650
C. *            hit the list of volume numbers which identify each *GU000660
C. *            physical volume. Zeroed when no more volumes are *GU000670
C. *            stored                                     *GU000680
C. * HITS      2-Dim array that will contain the NHITS hits *GU000690
C. * NHITS     returns the number of selected hits. In case the *GU000700
C. *            total number of hits is greater than NHMAX, NHITS *GU000710
C. *            is set to NHMAX+1 and only NHMAX hits are returned *GU000720
C. * - HITS(1,I) is the element 1 for hit number I         *GU000730
C. * - NUMBV(1,I) is the volume number 1 for hit number I *GU000740
C. * - ITRA(I)  is the track number corresponding to hit   *GU000750
C. *            number I                                    *GU000760
C. * In the calling routine the arrays NUHVS, NUMBV, HITS and *GU000770
C. * ITRA must be dimensioned to:                          *GU000780
C. *          NUHVS(NVDIM)                                  *GU000790

```

```

C.      *      NUMBV(NVDIM,NHMAX)                                *GU000800
C.      *      HITS(NHDIM,NHMAX)                                *GU000810
C.      *      ITRA(NHMAX)                                       *GU000820
C.      *                                                    *GU000830
C.      *      ==>Called by : <USER>, GUDIGI                    *GU000840
C.      *      Author   R.Brun  *****                        *GU000850
C.      *                                                    *GU000860
C.      *      *****                                           *GU000870
C.      testvektor init                                         GU000880
      DO 111 I=1,10                                             GU000890
          RITEST(I,1)=0                                         GU000900
          RITEST(I,2)=0                                         GU000910
          RITEST(I,3)=0                                         GU000920
111  CONTINUE                                                  GU000930
C          CALL GDSHOW(1)                                       GU000940
C          CALL GDXYZ(0)                                         GU000950
C          CALL TVNEXT(0)                                       GU000960
C                                                    GU000970
C *** Fetch the cells fired                                     GU000980
C                                                    GU000990
      CALL GFHITS('ECAL','SAB1',NV,NH,NHX,ITRS,NUMVS,ITRA,NUMBV1,BITS1,
+NHITS1)                                                       GU001000
      CALL GFHITS('ECAL','SAB2',NV,NH,NHX,ITRS,NUMVS,ITRA,NUMBV2,BITS2,
+NHITS2)                                                       GU001010
      CALL GFHITS('ECAL','SAB3',NV,NH,NHX,ITRS,NUMVS,ITRA,NUMBV3,BITS3,
+NHITS3)                                                       GU001020
      CALL GFHITS('ECAL','SAB4',NV,NH,NHX,ITRS,NUMVS,ITRA,NUMBV4,BITS4,
+NHITS4)                                                       GU001030
      CALL GFHITS('ECAL','SAB4',NV,NH,NHX,ITRS,NUMVS,ITRA,NUMBV4,BITS4,
+NHITS4)                                                       GU001040
      CALL GFHITS('ECAL','SAB4',NV,NH,NHX,ITRS,NUMVS,ITRA,NUMBV4,BITS4,
+NHITS4)                                                       GU001050
      CALL GFHITS('ECAL','SAB4',NV,NH,NHX,ITRS,NUMVS,ITRA,NUMBV4,BITS4,
+NHITS4)                                                       GU001060
      CALL GFHITS('ECAL','SAB4',NV,NH,NHX,ITRS,NUMVS,ITRA,NUMBV4,BITS4,
+NHITS4)                                                       GU001070
      CALL GFHITS('DELE','CON1',NV,NH,NHX,ITRS,NUMVS,ITRA,NUMBV5,BITS5,
+NHITS5)                                                       GU001080
      CALL GFHITS('DELE','CON1',NV,NH,NHX,ITRS,NUMVS,ITRA,NUMBV5,BITS5,
+NHITS5)                                                       GU001090
      CALL GFHITS('DELE','CON2',NV,NH,NHX,ITRS,NUMVS,ITRA,NUMBV6,BITS6,
+NHITS6)                                                       GU001100
      CALL GFHITS('DELE','CON2',NV,NH,NHX,ITRS,NUMVS,ITRA,NUMBV6,BITS6,
+NHITS6)                                                       GU001110
C                                                    GU001120
C *** Writout shower                                           GU001130
C                                                    GU001140
C *** ITAG = bitpattern for event classification :             GU001150
C          leading bit=1 corresponds to an event where an absorber with
C          ring-id 6 fired                                       GU001160
C          next bit=1 ring-id 5 fired                             GU001170
C          next bit=1 ring-id 3v4 fired                           GU001180
C          next bit=1 ring-id 1v2 fired                           GU001190
C          next bit=1 ring-id 1v2 fired                           GU001200
C                                                    GU001210
      ITAG=0                                                    GU001220
      IF (NHITS1+NHITS2.GT.0)  ITAG=ITAG+1                       GU001230
      IF (NHITS3+NHITS4.GT.0)  ITAG=ITAG+10                     GU001240
C                                                    GU001250
C Look for the two converters with the maximum energy deposit  GU001260

```

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 look if the converters are not neighboured and if there              GU002030
  C are hits in the absorbers behind them                                GU002040
  C                                                                        GU002050
  C IF ((ITAG.EQ.101).OR.(ITAG.EQ.111)) THEN                             GU002060
  C   UPPER X-PLANE                                                       GU002070
  C   IF(ABS(NUMBV5(2,II)-NUMBV5(2,JJ)).LT.2)THEN                         GU002080
  C     CONVERTER BENACHBART- BAD EVENT                                   GU002090
  C     ELSE                                                                GU002100
  C     CALL GEOEFF                                                         GU002110
  C     FETCH CORRESPONDING ABSORBERS                                       GU002120
  C     CALL CHECK(NUMBV5(2,II),NUMBV5(2,JJ),NUMBV1,NUMBV1,              GU002130
+     NHITS1,NHITS1,IGOOD,IFLG,                                           GU002140
+     'CON1','CON1','SAB1','SAB1')                                         GU002150
  C     IF (IGOOD.EQ.1)GOTO 99                                             GU002160
  C     CALL CHECK(NUMBV5(2,II),NUMBV5(2,JJ),NUMBV1,NUMBV2,              GU002170
+     NHITS1,NHITS2,IGOOD,IFLG,                                           GU002180

```

```

+      '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

```



```

      IF(IXCUT.EQ.1)GOTO 7771                                GU003650
C-----
C      calculate restmass of pion                            GU003660
C-----
      CALL RESTMA(E1,E2,ANGLE,REST1)                        GU003690
      CALL HFILL(1,REST1*1000.,1.)                          GU003700
      call hfill(33,(1.+COS(3.141592/180.*ANGLE)),REST1*1000.) GU003710
C-----
C      store gamma angle distribution                        GU003720
C-----
      call hfill(35,angle)                                   GU003730
C-----
C      store energy deposit of absorber                     GU003740
C-----
      call hfill(40,RE1*1000.)                               GU003750
      call hfill(40,RE2*1000.)                               GU003760
C-----
C      store energy deposit of converter                    GU003770
C-----
      call hfill(41,CHAX1*1000.)                             GU003780
      call hfill(41,CHAX2*1000.)                             GU003790
C-----
C      calculate pionenergy and impuls:                     GU003810
C-----
      call relang(zaxis,totals1,eta1)                        GU003820
      call relang(zaxis,totals2,eta2)                        GU003830
C-----
      call ETAPIO(E1,E2,angle,eta1,eta2,eta)                GU003840
      call hfill(34,eta)                                     GU003850
      call epion(angle,e1,e2,epio,ppio)                      GU003860
C-----
      %-----> <-----
      call hfill(31,ppio*1000.)                              GU003870
      call hfill(37,epio*1000.)                              GU003880
C-----
C      CALCULATE EXACT ANGLE FROM INPUT DATA                GU003890
      XX(1)=PX1                                              GU003900
      XX(2)=PY1                                              GU003910
      XX(3)=PZ1                                              GU003920
      YY(1)=PX2                                              GU003930
      YY(2)=PY2                                              GU003940
      YY(3)=PZ2                                              GU003950
      CALL RELANG(XX,YY,ANGINP)                               GU003960
      call epion(anginp,e11,e22,epio,ppio)                  GU003970
      call hfill(32,ppio*1000.)                              GU003980
C-----
C      ANGDIFF=difference between real relative angle of the gammas and GU003990
C      the calculated relative angle                        GU004000

```

```

C          offset of 50 degrees introduced to get positive values   GU004100
C          for the histogramm                                       GU004110
C-----
C          ANGDIFF=ANGINP-ANGLE+50.                                  GU004120
C          CALL HFILL(7,ANGDIFF,1.)                                  GU004130
C          CALL HFILL(7,ANGDIFF,1.)                                  GU004140
C-----
C          ANGDEV=difference between angle of the gamma input      GU004150
C          impuls and the shower calculated direction of the gamma GU004160
C-----
C          ANGDEV=0.                                                GU004170
C          AG1=0.                                                    GU004180
C          CALL DEBANG(XX,TOTALS1,TOTALS2,ANGDEV,AG1)              GU004190
C          CALL HFILL(9,ANGDEV,1.)                                  GU004200
C          CALL HFILL(10,ANGDEV,AG1,1.)                             GU004210
C          ANGDEV=0.                                                GU004220
C          AG1=0.                                                    GU004230
C          CALL DEBANG(YY,TOTALS1,TOTALS2,ANGDEV,AG1)              GU004240
C          CALL HFILL(9,ANGDEV,1.)                                  GU004250
C          CALL HFILL(10,ANGDEV,AG1,1.)                             GU004260
C-----
C          ANGDEV=difference between angle of the gamma input      GU004270
C          impuls and the positional calculated direction of the gamma GU004280
C-----
C          ANGDEV=0.                                                GU004290
C          AG1=0.                                                    GU004300
C          CALL DEBANG(XX,POS1,POS2,ANGDEV,AG1)                    GU004310
C          CALL HFILL(23,ANGDEV,1.)                                  GU004320
C          CALL HFILL(24,ANGDEV,AG1,1.)                             GU004330
C          WRITE(*,*) ANGDEV ,AG1                                   GU004340
C          ANGDEV=0.                                                GU004350
C          AG1=0.                                                    GU004360
C          CALL DEBANG(YY,POS1,POS2,ANGDEV,AG1)                    GU004370
C          CALL HFILL(23,ANGDEV,1.)                                  GU004380
C          CALL HFILL(24,ANGDEV,AG1,1.)                             GU004390
C          WRITE(*,*) ANGDEV,AG1                                    GU004400
C-----
C          AGPSDV=difference between the relative angle of the gamma input GU004410
C          impuls vectors and the relative angle between the centers of GU004420
C          the absorbers with the maximum energy deposit of the relevant GU004430
C          absorber quadruples                                       GU004440
C          offset of 50 degrees introduced to get positive values   GU004450
C          for the histogramm                                       GU004460
C-----
C          AGPSDV=ANGINP-ANGPOS+50.                                  GU004470
C          CALL HFILL(12,AGPSDV,1.)                                  GU004480
C          CALL HFILL(8,E11*1000.,1.)                                GU004490
C          CALL HFILL(8,E22*1000.,1.)                                GU004500
C          CALL HFILL(8,E22*1000.,1.)                                GU004510

```

```

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
DEMUO=100.*DEMUO/ETOT                GU004930
EBREM=100.*EBREM/ETOT                GU004940
c   write(*,*)DEGAH,DELEC,DENEU,DEHAD,DEMUO 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,DEMUO,1.)               GU005000
CALL HFILL(30,EBREM,1.)               GU005010
C-----) GU005020
C-----) GU005030
C-----) debugging from here on -----)

```

```

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)

```

```

        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 POSSESS 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,RMAX) GU006240
C*****GU006250
C FUNCTION: Get the absorber behind hitted converter with maximmm 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 RMAX -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
        WRITE(9,*)' **** BAD EVENT ***'                 GU007310
        IGOOD=0                                           GU007320
      ENDIF                                               GU007330
      GOTO 6                                               GU007340
    ENDIF                                                  GU007350
    IF(K1.EQ.0 )GOTO 7                                     GU007360

```



```

ENDIF
IF(I.EQ.4)THEN
  DO 4 J=1,NHITS4
    IF(NUMBV4(2,J).EQ.IHILF)K=J
4  CONTINUE
ENDIF
END

```

GU007820
GU007830
GU007840
GU007850
GU007860
GU007870
GU007880

```

SUBROUTINE GETANG(NCON1,NCON2,ANGLE,ITAG)
C=====
C  NCON1/2=Z.B. NUMBV5(2,II)
C  ANGLE = angle between the two gammas
C  ITAG =S.O.
C  FUNCTION: calculation of ANGLE
C  TOTALSi=center of mass(i.e. energy) vector of gamma i
C  REi=summation of energy deposited in the absorbers by
C  gamma i
C=====
PARAMETER (NHX=400,NV=2,NH=1)
COMMON/TOTAL/TOTALS1(3),TOTALS2(3)
COMMON/GCFLAG/IDEBUG,IDEHIN,IDEHAX,ITEST,IDRUN,IDEVT,IEORUN
+   ,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
REAL*4 XSV(3)
C-----
C  1.ConverterII : NAB1= Ringindex der den Absorber mit der
C  Nummer NMAX1 enthaelt in dem die Enrgie
C  RMA1 deponiert wurde
C
C  reset center of energy vec. and energy sum:
DO 1 I=1,3
  XSV(I)=0.
  TOTALS1(I)=0.
1  TOTALS2(I)=0.
RE1=0.
RE2=0.
C  Absorbernummern:
NADD1=NCON1*2
NADD2=NADD1-1
IF((ITAG.EQ.1111).OR.(ITAG.EQ.101))THEN
  NAB1=1
  NAB2=2
ENDIF
IF(ITAG.EQ.1010)THEN

```

GU007890
GU007900
GU007910
GU007920
GU007930
GU007940
GU007950
GU007960
GU007970
GU007980
GU007990
GU008000
GU008010
GU008020
GU008030
GU008040
GU008050
GU008060
GU008070
GU008080
GU008090
GU008100
GU008110
GU008120
GU008130
GU008140
GU008150
GU008160
GU008170
GU008180
GU008190
GU008200
GU008210
GU008220
GU008230
GU008240
GU008250
GU008260
GU008270
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-----
    IF((ITAG.EQ.1111).OR.(ITAG.EQ.101))THEN GU008380
      IF(INADD1.NE.0)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.0)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.0)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.0)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-----
    IF(ITAG.EQ.1010)THEN                   GU008600
      IF(INADD1.NE.0)THEN                   GU008610
        RE1=RE1+BITS3(1,INADD1)           GU008620
        CALL GETPOS(NAB1,NADD1,XSV)        GU008630
        CALL MULADD(XSV,TOTALS1,BITS3(1,INADD1)) GU008640
      ENDIF                                  GU008650
      IF(INADD2.NE.0)THEN                   GU008660
        RE1=RE1+BITS3(1,INADD2)           GU008670
        CALL GETPOS(NAB1,NADD2,XSV)        GU008680
        CALL MULADD(XSV,TOTALS1,BITS3(1,INADD2)) GU008690
      ENDIF                                  GU008700
      IF(INADD3.NE.0)THEN                   GU008710
        RE1=RE1+BITS4(1,INADD3)           GU008720
        CALL GETPOS(NAB2,NADD1,XSV)        GU008730
        CALL MULADD(XSV,TOTALS1,BITS4(1,INADD3)) GU008740
      ENDIF                                  GU008750
    ENDIF

```

ENDIF	GU008760
IF(INADD4.NE.O)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.O)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.O)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.O)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.O)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
        C    devide center of energy vec by mass sum:           GU009570
        DO 2 I=1,3                                               GU009580
            TOTALS1(I)=TOTALS1(I)/RE1                            GU009590
        2    TOTALS2(I)=TOTALS2(I)/RE2                            GU009600
        C    calculate angle:                                     GU009610
        CALL RELANG(TOTALS1,TOTALS2,ANGLE)                       GU009620
        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

```



```

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                                     I          GU010250
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
      NADD1=NCON1*2          GU010370
      NADD2=NADD1-1          GU010380
      IF((ITAG.EQ.1111).OR.(ITAG.EQ.101))THEN GU010390
        NAB1=1          GU010400
        NAB2=2          GU010410
C*****  GRAFICS DEBUG *****          GU010420
      IF(IDEBUG*ISWIT(5).EQ.1) THEN          GU010430
        CID(1)='HALL'          GU010440
        CID(2)='CON1'          GU010450
        NCID(2)=NCON1          GU010460
        NCID(1)=1          GU010470
        CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU) GU010480
        CID(1)='HALL'          GU010490
        CID(2)='SAB1'          GU010500
        NCID(1)=1          GU010510
        NCID(2)=NADD1          GU010520
        CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU) GU010530
        CID(2)='SAB1'          GU010540
        NCID(2)=NADD2          GU010550
        CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU) GU010560
        CID(2)='SAB2'          GU010570
        NCID(2)=NADD1          GU010580
        CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU) GU010590
        CID(2)='SAB2'          GU010600
      END IF          GU010610

```

NCID(2)=NADD2	GU010620
CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)	GU010630
CALL GDXYZ(0)	GU010640
CALL GDPART(1,10.,.25)	GU010650
ENDIF	GU010660
C***** GRAFICS DEBUG *****	GU010670
ENDIF	GU010680
IF(ITAG.EQ.1010)THEN	GU010690
NAB1=3	GU010700
NAB2=4	GU010710
C***** GRAFICS DEBUG *****	GU010720
IF(IDEBUG*ISWIT(5).EQ.1) THEN	GU010730
CID(1)='HALL'	GU010740
CID(2)='CON2'	GU010750
NCID(1)=1	GU010760
NCID(2)=NCON1	GU010770
CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)	GU010780
CID(1)='HALL'	GU010790
CID(2)='SAB3'	GU010800
NCID(1)=1	GU010810
NCID(2)=NADD1	GU010820
CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)	GU010830
CID(2)='SAB3'	GU010840
NCID(2)=NADD2	GU010850
CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)	GU010860
CID(2)='SAB4'	GU010870
NCID(2)=NADD1	GU010880
CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)	GU010890
CID(2)='SAB4'	GU010900
NCID(2)=NADD2	GU010910
CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)	GU010920
CALL GDXYZ(0)	GU010930
CALL GDPART(1,10.,.25)	GU010940
ENDIF	GU010950
C***** GRAFICS DEBUG *****	GU010960
ENDIF	GU010970
CALL GETIND(NAB1,INADD1,NADD1)	GU010980
CALL GETIND(NAB1,INADD2,NADD2)	GU010990
CALL GETIND(NAB2,INADD3,NADD1)	GU011000
CALL GETIND(NAB2,INADD4,NADD2)	GU011010
C ADD energy:	GU011020
RE1=0	GU011030
IF((ITAG.EQ.1111).OR.(ITAG.EQ.101))THEN	GU011040
IF(INADD1.NE.0)RE1=BITS1(1,INADD1)	GU011050
IF(INADD2.NE.0)RE1=RE1+BITS1(1,INADD2)	GU011060
IF(INADD3.NE.0)RE1=RE1+BITS2(1,INADD3)	GU011070
IF(INADD4.NE.0)RE1=RE1+BITS2(1,INADD4)	GU011080

```

ENDIF                                                    GU011090
IF(ITAG.EQ.1010)THEN                                     GU011100
  IF(INADD1.NE.0)RE1=BITS3(1,INADD1)                   GU011110
  IF(INADD2.NE.0)RE1=RE1+BITS3(1,INADD2)               GU011120
  IF(INADD3.NE.0)RE1=RE1+BITS4(1,INADD3)               GU011130
  IF(INADD4.NE.0)RE1=RE1+BITS4(1,INADD4)               GU011140
ENDIF                                                    GU011150
C                                                        GU011160
C      dito fuer converter JJ :                          GU011170
C                                                        GU011180
C      Absorbernummern:                                  GU011190
NADD1=NCON2*2                                           GU011200
NADD2=NADD1-1                                           GU011210
IF((ITAG.EQ.1111).OR.(ITAG.EQ.1010))THEN               GU011220
  NAB1=3                                                 GU011230
  NAB2=4                                                 GU011240
C*****  GRAFICS DEBUG *****                          GU011250
IF(IDEBUG*ISWIT(5).EQ.1) THEN                           GU011260
  CID(1)='HALL'                                         GU011270
  CID(2)='CON2'                                         GU011280
  NCID(1)=1                                             GU011290
  NCID(2)=NCON2                                        GU011300
  CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)     GU011310
  CID(1)='HALL'                                         GU011320
  CID(2)='SAB3'                                         GU011330
  NCID(1)=1                                             GU011340
  NCID(2)=NADD1                                        GU011350
  CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)     GU011360
  CID(2)='SAB3'                                         GU011370
  NCID(2)=NADD2                                        GU011380
  CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)     GU011390
  CID(2)='SAB4'                                         GU011400
  NCID(2)=NADD1                                        GU011410
  CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)     GU011420
  CID(2)='SAB4'                                         GU011430
  NCID(2)=NADD2                                        GU011440
  CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)     GU011450
  CALL GDXYZ(0)                                         GU011460
  CALL GDPART(1,10,.25)                                 GU011470
ENDIF                                                    GU011480
C*****  GRAFICS DEBUG *****                          GU011490
ENDIF                                                    GU011500
IF((ITAG.EQ.101).OR.(ITAG.EQ.111))THEN                 GU011510
  NAB1=1                                                 GU011520
  NAB2=2                                                 GU011530
C*****  GRAFICS DEBUG *****                          GU011540
IF(IDEBUG*ISWIT(5).EQ.1) THEN                           GU011550

```

```

CID(1)='HALL'
CID(2)='CON1'
NCID(1)=1
NCID(2)=NCON2
CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)
CID(1)='HALL'
CID(2)='SAB1'
NCID(1)=1
NCID(2)=NADD1
CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)
CID(2)='SAB1'
NCID(2)=NADD2
CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)
CID(2)='SAB2'
NCID(2)=NADD1
CALL GDRVOL(2,CID,NCID,0,10.,90.,0.,UO,VO,SU,VU)
CID(2)='SAB2'
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(IDEBUG*ISWIT(5).EQ.1) THEN
  CALL TVNEXT(0)
ENDIF
C      Position der Absorbernummer in den Arrays:
CALL GETIND(NAB1,INADD1,NADD1)
CALL GETIND(NAB1,INADD2,NADD2)
CALL GETIND(NAB2,INADD3,NADD1)
CALL GETIND(NAB2,INADD4,NADD2)
C      ADD energy:
RE2=0
IF(ITAG.EQ.101)THEN
  IF(INADD1.NE.0)RE2=BITS1(1,INADD1)
  IF(INADD2.NE.0)RE2=RE2+BITS1(1,INADD2)
  IF(INADD3.NE.0)RE2=RE2+BITS2(1,INADD3)
  IF(INADD4.NE.0)RE2=RE2+BITS2(1,INADD4)
ENDIF
IF((ITAG.EQ.1010).OR.(ITAG.EQ.1111))THEN
  IF(INADD1.NE.0)RE2=BITS3(1,INADD1)
  IF(INADD2.NE.0)RE2=RE2+BITS3(1,INADD2)
  IF(INADD3.NE.0)RE2=RE2+BITS4(1,INADD3)
  IF(INADD4.NE.0)RE2=RE2+BITS4(1,INADD4)
ENDIF
C

```

```

GU011560
GU011570
GU011580
GU011590
GU011600
GU011610
GU011620
GU011630
GU011640
GU011650
GU011660
GU011670
GU011680
GU011690
GU011700
GU011710
GU011720
GU011730
GU011740
GU011750
GU011760
GU011770
GU011780
GU011790
GU011800
GU011810
GU011820
GU011830
GU011840
GU011850
GU011860
GU011870
GU011880
GU011890
GU011900
GU011910
GU011920
GU011930
GU011940
GU011950
GU011960
GU011970
GU011980
GU011990
GU012000
GU012010
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 <-> CUTMIN<E1,E2>CUTHAX ) GU012080
C               ICUTYP = 1  -> (IECUT=0 <-> CUTMIN<E1>CUTHAX   ) GU012090
C               ICUTYP = 2  -> (IECUT=0 <-> CUTMIN<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))/
+                               SQRT((X(1)*X(1)+X(2)*X(2)+X(3)*X(3))*
+                               (Y(1)*Y(1)+Y(2)*Y(2)+Y(3)*Y(3))) )
      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
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-Seminars¹ des 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 Photomultiplierausgang 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 Lichtpulserelektronik;
- 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

