

# Monte-Carlo- Simulation

**Seminar zur Vorlesung Teilchendetektoren  
und Experiment an ELSA**



# Übersicht

- Einleitung
- Simulation mit Geant4
- generierte Daten
- Zusammenfassung



# Simulation

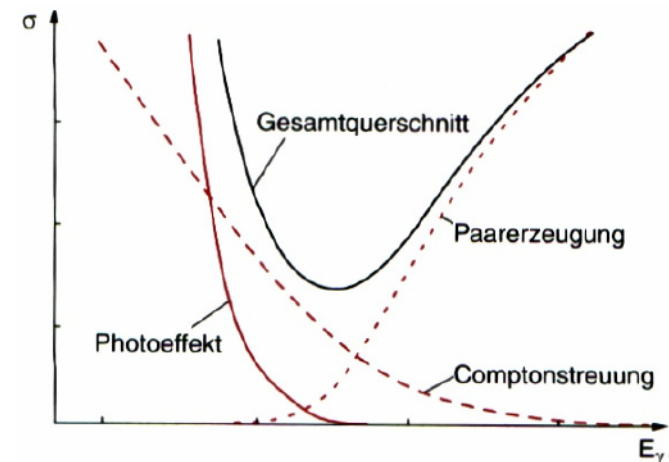
- Mathematische Modellierung eines Problems
- Vergleich Theorie  $\leftrightarrow$  Praxis
- Vorteil: Parameter leichter änderbar
  
- Aufgabenstellung mit statistischen Eigenschaften:
  - Verwendung von Zufallszahlen  
(Monte-Carlo-Simulation)

# Was wird simuliert?

## ■ physikalische Prozesse

- z.B. Compton-Streuung, Bremsstrahlung, Paarerzeugung, etc.
- Simulation der physikalischen Prozesse auf Grund von Wahrscheinlichkeiten
- Wirkungsquerschnitte gehen als bekannt in die Simulation ein
- Zufallszahl bestimmt den aktuellen Prozess

## ■ Detektorsignal





# Ziele

- Vorbereitung eines Experiments
  - Durchführbarkeit
  - Optimaler Aufbau
  - Zählratenabschätzung
- Vergleich experimenteller Daten mit der Simulation
- Korrektur der Daten mit Hilfe der Simulation
  - Akzeptanz
  - Winkel / Energiekorrektur



# Zufallszahlen

- echte Zufallszahlen

- statistische Prozesse (Münzwerfen, Lotto, Würfeln, radioaktiver Zerfall,...)
- Werte nicht vorhersagbar und unkorreliert
- nicht reproduzierbar

- Pseudozufallszahlen

- Erzeugt durch einen deterministischen Algorithmus
- einige Algorithmen mit guten statistischen Eigenschaften
- reproduzierbar

→ Rechner kann nur Pseudozufallszahlen erzeugen



# Linearer Kongruenzgenerator (LCG)

- „Zufallszahlen“ werden bestimmt nach:

$$x_n = (a \cdot x_{n-1} + c) \bmod m$$

$m, a, c$  natürliche Zahlen, konstant;  $x_0$  Startwert

- Periodenlänge maximal  $m$

- Typische Werte:

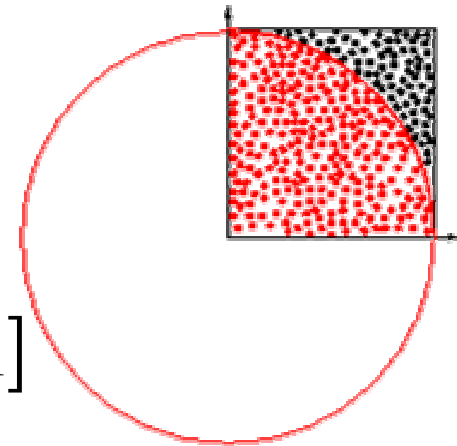
$$m = 2^{32} \approx 4,3 \cdot 10^9 \text{ oder } m = 2^{31} - 1 \approx 2 \cdot 10^9$$

→ Periodenlänge für Simulationen zu kurz

→ Bessere Pseudozufallszahlengeneratoren haben eine Periodenlänge von  $2^{100} \approx 1,3 \cdot 10^{30}$

# Monte-Carlo-Simulation

- Stochastisches Berechnungsverfahren
- Beispiel:
  - Bestimmung von  $\pi$  am Einheitskreis
    - Erzeuge gleichverteilte Punkte mit  $x, y \in [0,1]$
    - Wenn  $d((x, y), (0,0)) \leq 1$  dann Punkt im Kreis
    - Verhältnis der Anzahl von Punkten im Kreis zu allen Punkten liefert Fläche  $A$
    - $\pi = 4 \cdot A$
- Zur Integralrechnung geeignet
- Benannt nach dem für sein Kasino bekannten Stadtteil Monte Carlo (Monaco)







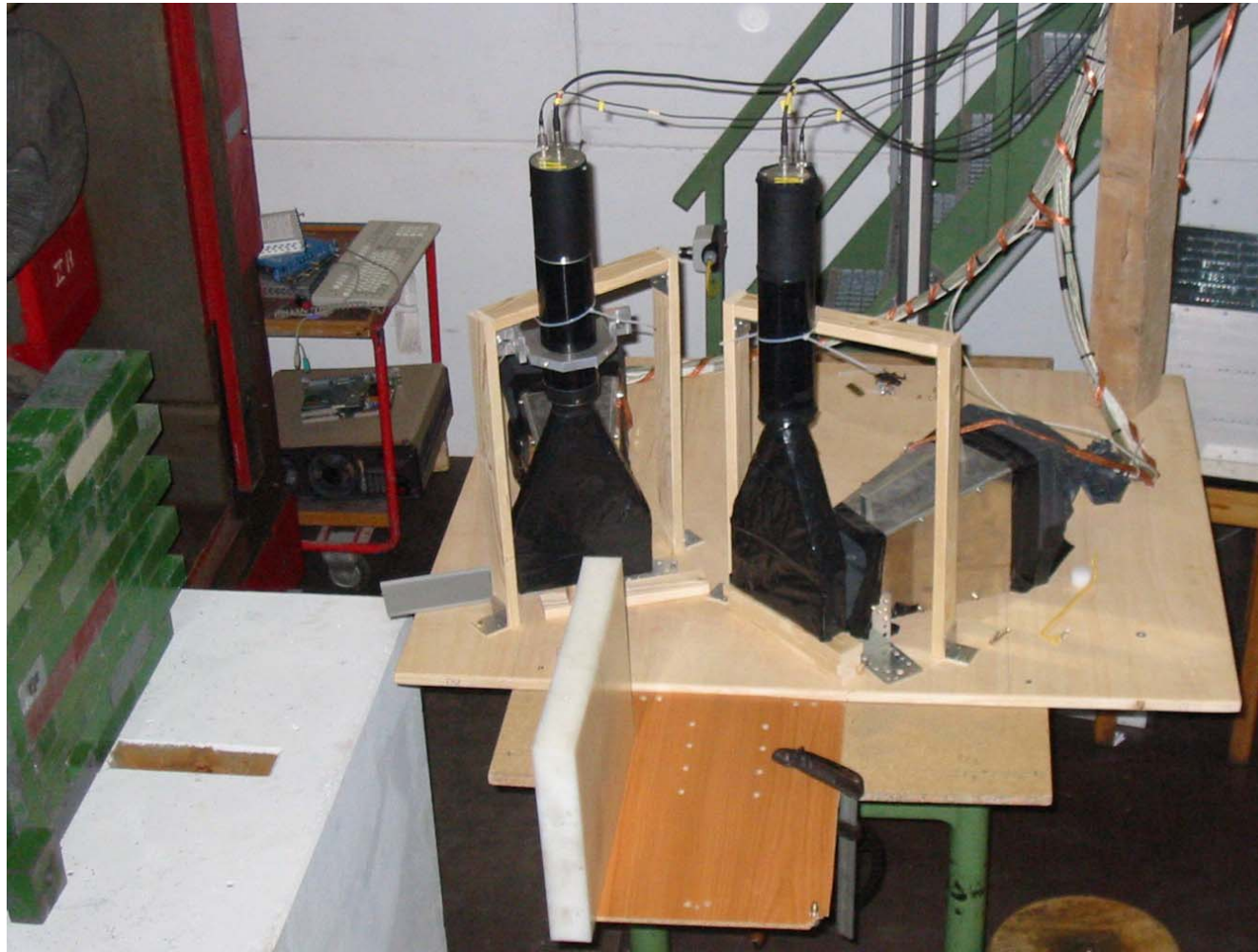
# Simulation mit Geant4



# Geant4

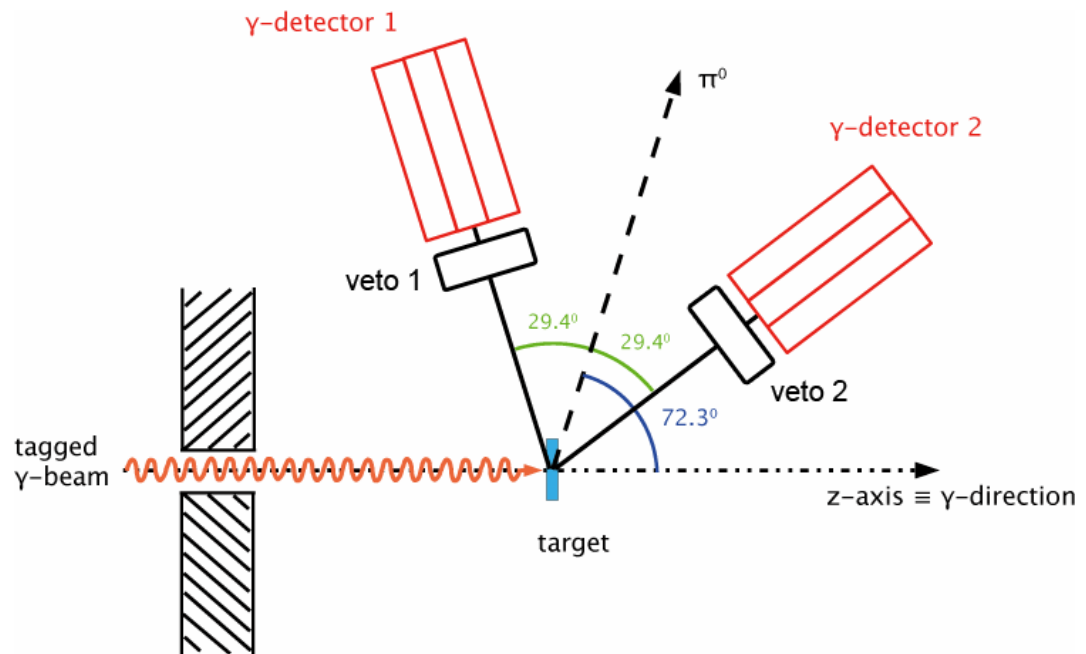
- Werkzeug zur Simulation von Teilchendurchgängen durch Materie
- Entwickelt von einer Kollaboration am CERN
- Open Source (Geant4 Software License)
- Weltweiter Standard für Simulationen
- Vielfältige Einsatzgebiete
- Beschränkung auf gewollte Prozesse möglich

# Aufbau des Experiments



# Virtueller Aufbau des Experiments

- Beschreibung per XML-Datei
- Wichtigste Bestandteile:
  - Beam
  - Target
  - Detektor
  - Ereignis
    - Deltaresonanz





# Aufbauprinzip des Detektors

- 2 Blöcke mit je 9 Kristallen
- Auch in der Simulation Aufteilung auf zwei logische Blöcke
  - Vorteile:
    - übersichtlicherer Code
    - Detektorposition einfacher anzupassen

# Beschreibung eines Blocks

```
<G4CBLogicalVolume Name="SpiderBlock_Logic_1" Number="2" Material="Air"  
  Red="1.0" Green="0.0" Blue="1.0" Alpha="1.0"  
  Visible="No" DaughtersInvisible="No"  
  Sensitive="No" Debug="9">
```

```
<G4CBBox aUnit="deg" Unit="mm" Name="Box_Solid_1" x="100.0" y="250.0" z="220.0"/>
```

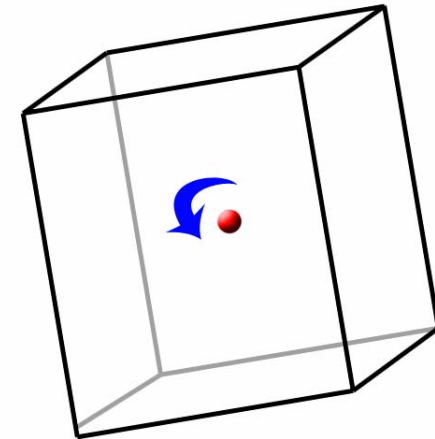
```
<G4CBVector3 Unit="mm" x="-306.0" y="-120.0" z="330.0" />
```

```
<G4CBRotationMatrix aUnit="deg" x="0.0" y="43.0" z="0.0" />
```

```
<G4CBMaterial/>
```

```
<CBTIncludeXML File="SpiderBlock1.xml"/>
```

```
</G4CBLogicalVolume>
```

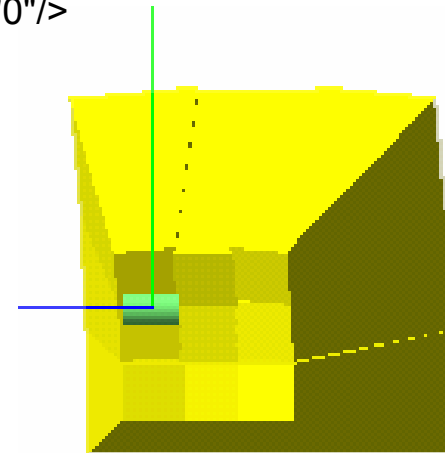


# Beschreibung eines Kristalls

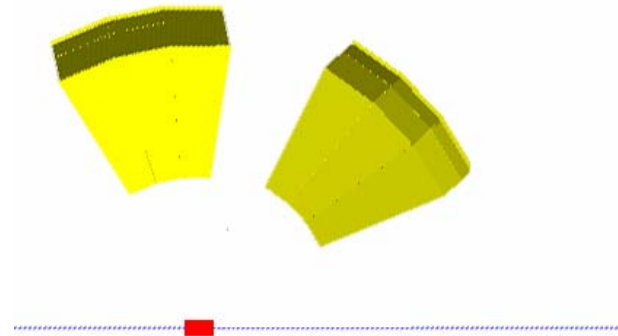
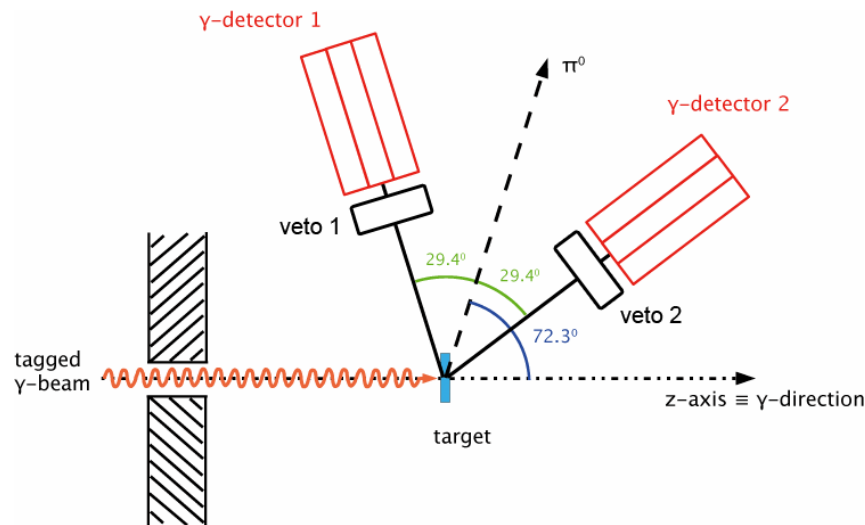
```
<G4CBLogicalVolume Name="Spider_Logig_1" Number="1" Material="CsITI"  
  Red="1.0" Green="1.0" Blue="0.0" Alpha="1.0,,  
  Visible="Yes" DaughtersInvisible="No"  
  Sensitive="yes" Debug="9">
```

```
<G4CBTrap Unit="mm" aUnit="deg" Name="Crystal" Z="150.0" Theta="0.0" Phi="0.0"  
  Y1="26.887" X1="28.767" X2="28.926" Alpha1="0"  
  Y2="58.332" X3="60.083" X4="60.418" Alpha2="0"/>
```

```
<G4CBVector3 Unit="mm" x="0.0" y="42.5" z="0.0" />  
<G4CBRotationMatrix aUnit="deg" x="0.0" y="0.0" z="0.0" />  
<G4CBMaterial/>  
</G4CBLogicalVolume>
```



# Vergleich der Aufbauten



## Unterschiede zwischen Simulation und Experiment

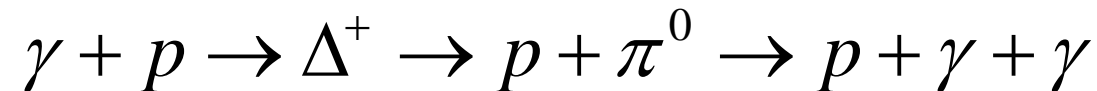
- Keine Vetos
- Keine Ausleseelektronik
- Nur Kristalle ohne Ummantelung
- Keine Ausdehnung des Strahls





# Ablauf der Simulation

Betrachtete Reaktion:



- $\gamma + p \rightarrow \Delta^+ \rightarrow p + \pi^0$  wird nicht simuliert, sondern als gewünschtes Ereignis immer berechnet
- Weiterer Zerfall wird gemäß Kinematik simuliert

# Simulationsschritte

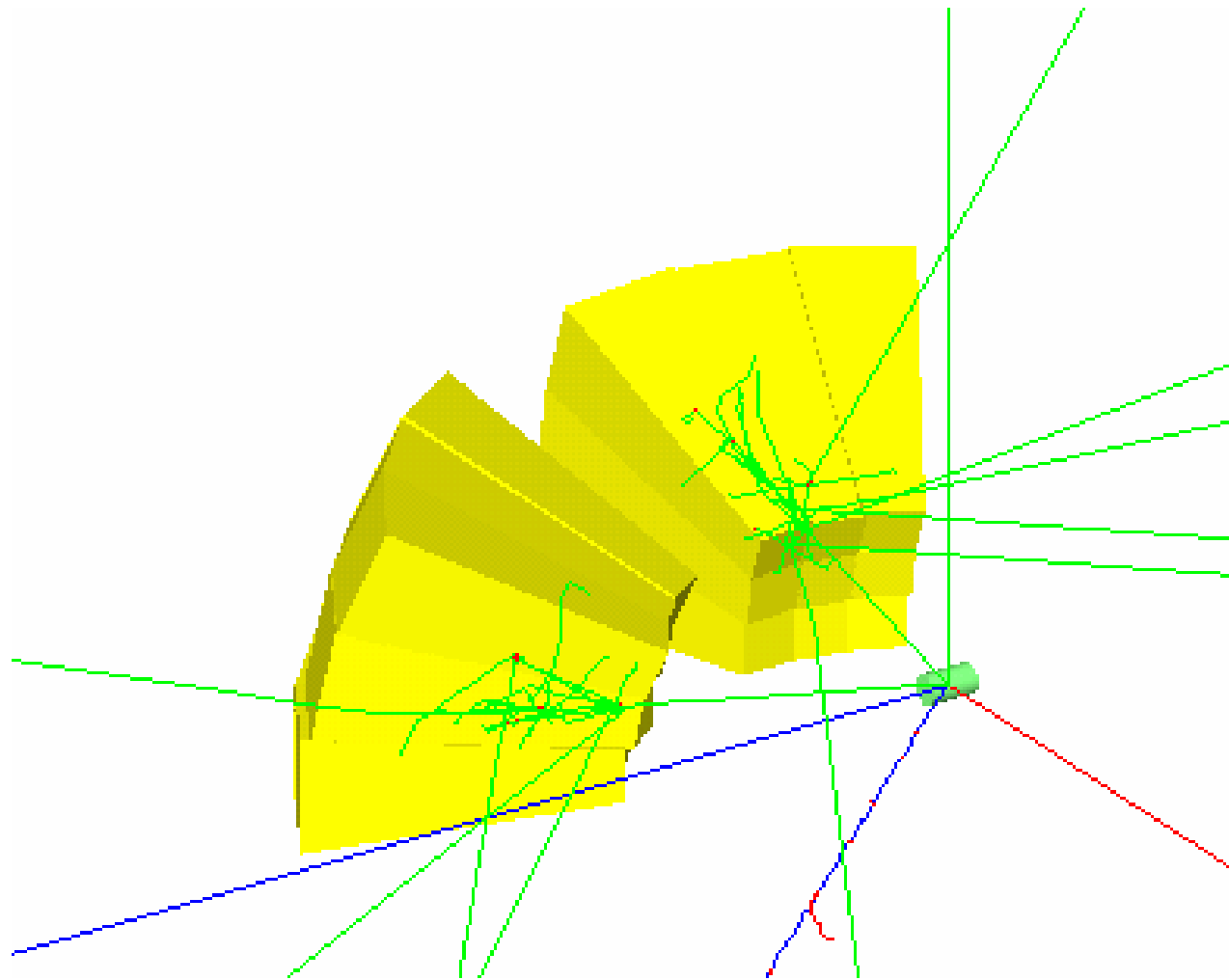
```
*****  
* G4Track Information: Particle = e+, Track ID = 2199, Parent ID = 2196  
*****
```

Step#	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	KinE(MeV)	dE(MeV)	StepLeng	TrackLeng	NextVolume	ProcName
0	-330	31.6	-110	30.8	0	0	0	Spider_Logic_18	initStep
1	-332	31.8	-111	26.2	1.8	1.83	1.83	Spider_Logic_18	eBrem
2	-336	31.9	-112	22.7	2.26	3.92	5.75	Spider_Logic_18	eBrem
3	-336	31.8	-112	22.4	0.227	0.505	6.25	Spider_Logic_18	eBrem
[...]									
14	-346	23.3	-109	0	0.21	0.184	28.2	Spider_Logic_18	eIoni
15	-346	23.3	-109	0	0	0	28.2	Spider_Logic_18	annihil

```
*****  
* G4Track Information: Particle = gamma, Track ID = 2211, Parent ID = 2199  
*****
```

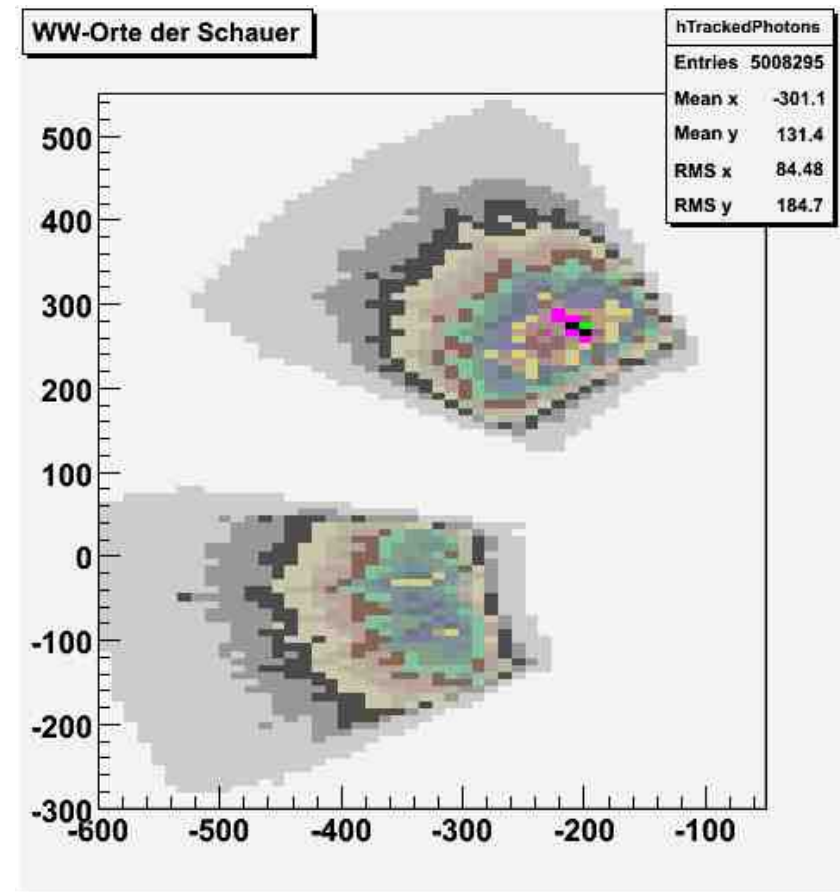
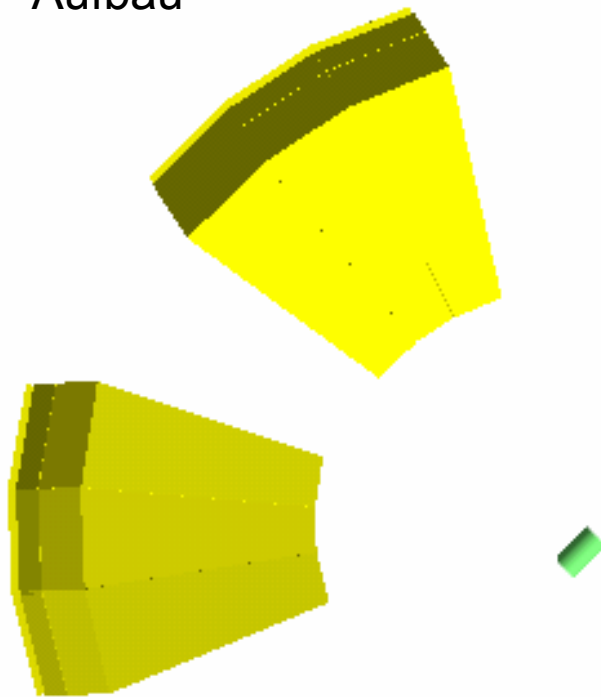
Step#	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	KinE(MeV)	dE(MeV)	StepLeng	TrackLeng	NextVolume	ProcName
0	-346	23.3	-109	0.511	0	0	0	Spider_Logic_18	initStep
1	-346	32.5	-103	0.511	0	11.1	11.1	Spider_Logic_16	Transportation
2	-346	66.7	-79.8	0.175	0	41.2	52.4	Spider_Logic_16	compt
3	-346	66.6	-80.1	0	0.036	0.289	52.6	Spider_Logic_16	phot

# Visualisierung der Simulation



# Wechselwirkungsorte

Aufbau

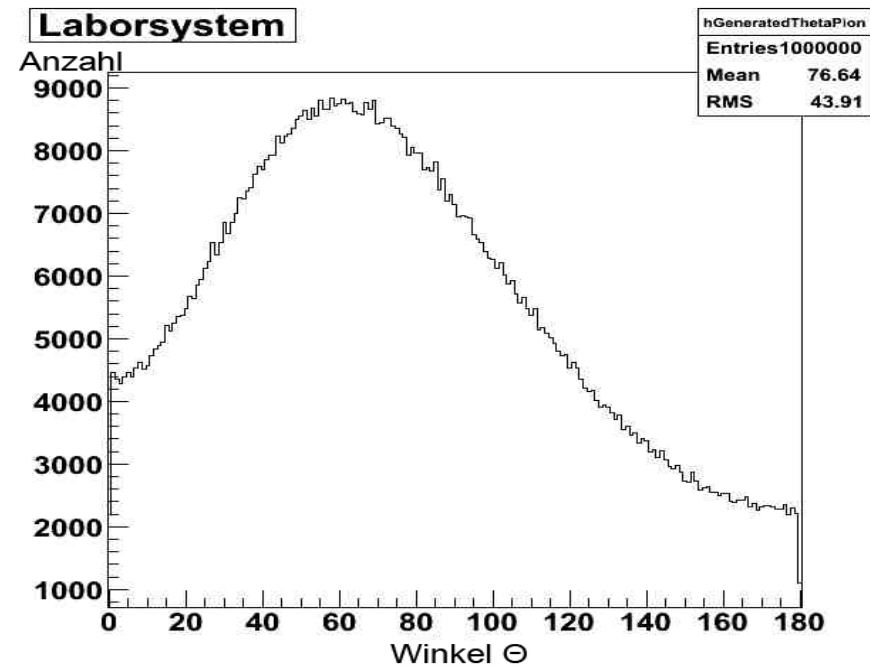
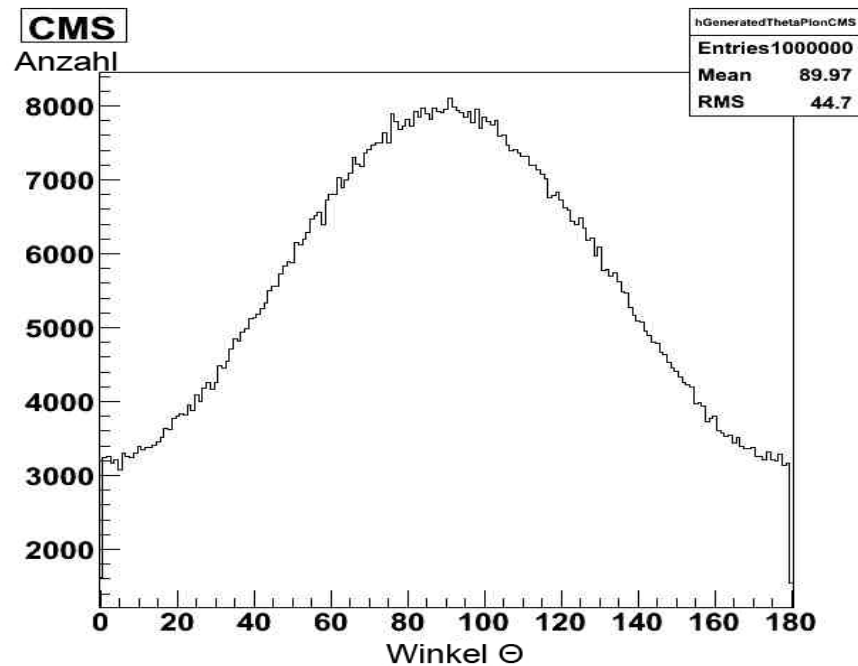




# Generierte Daten

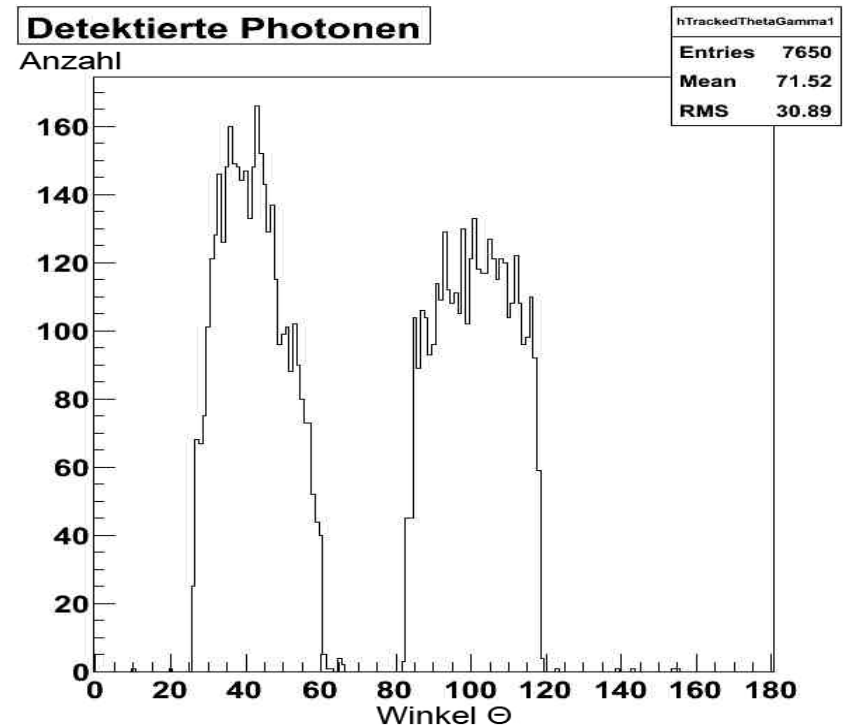
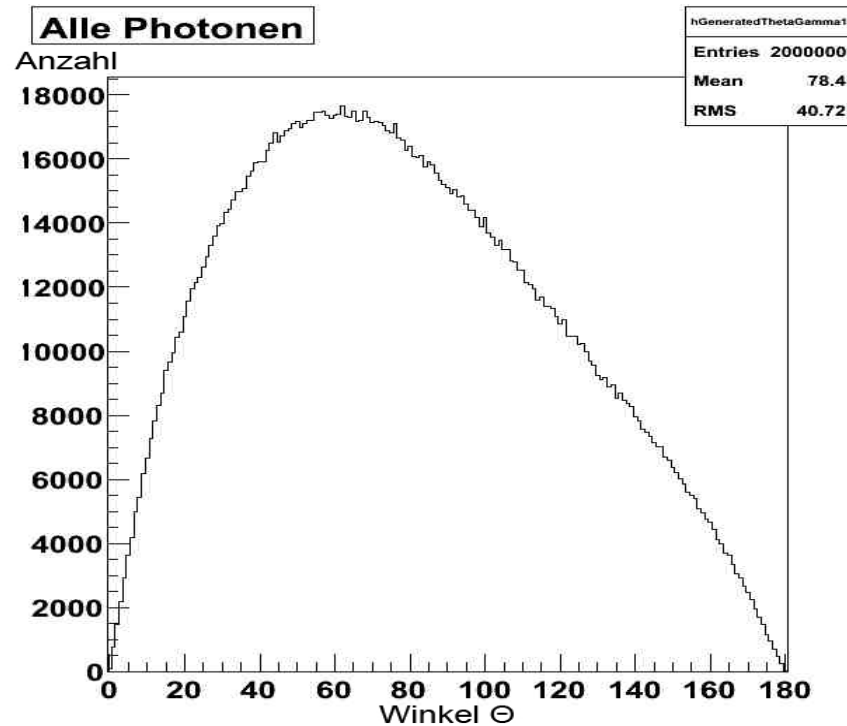
(Analyse mit root)

# $\Theta$ – Verteilung des $\pi^0$



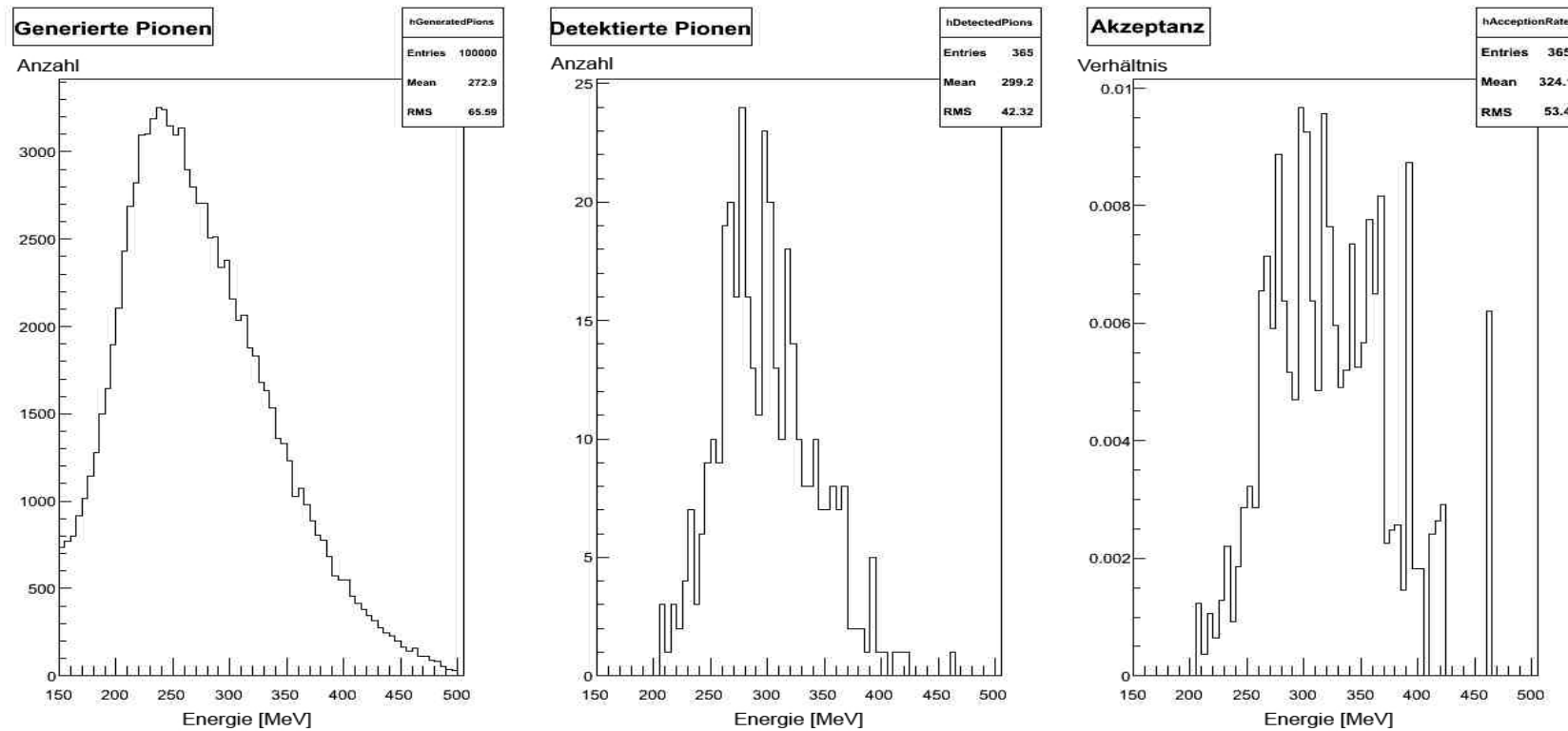
- Im CMS Maximum bei  $\sim 90^\circ$
- Im Laborsystem Maximum bei  $\sim 72^\circ$

# $\Theta$ – Verteilung der Photonen



- Photonverteilung im CMS isotrop  
→ Maximum im Laborsystem bei  $\sim 72^\circ$

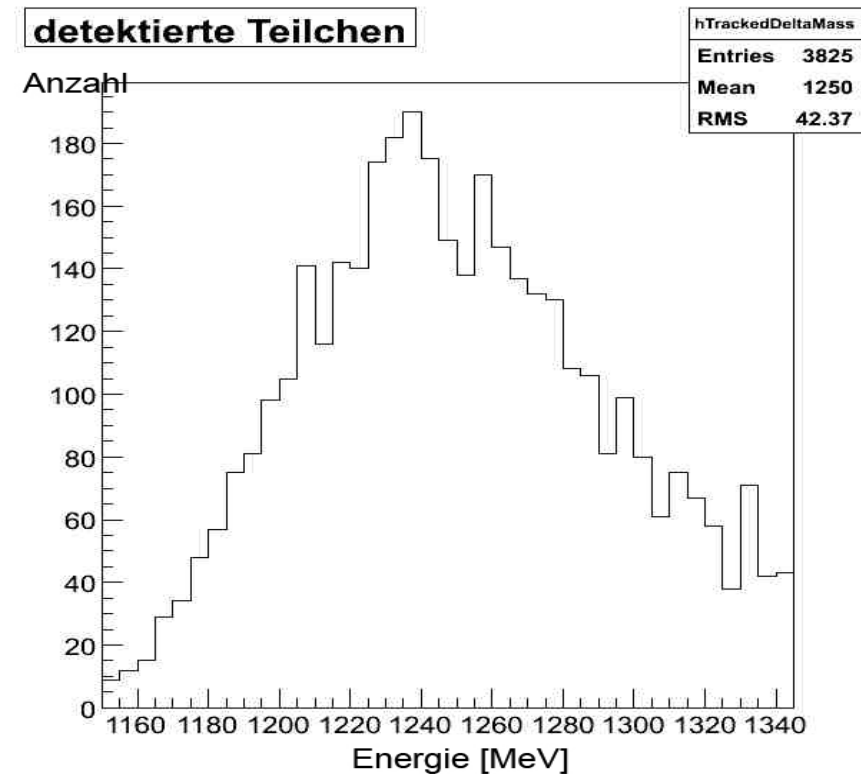
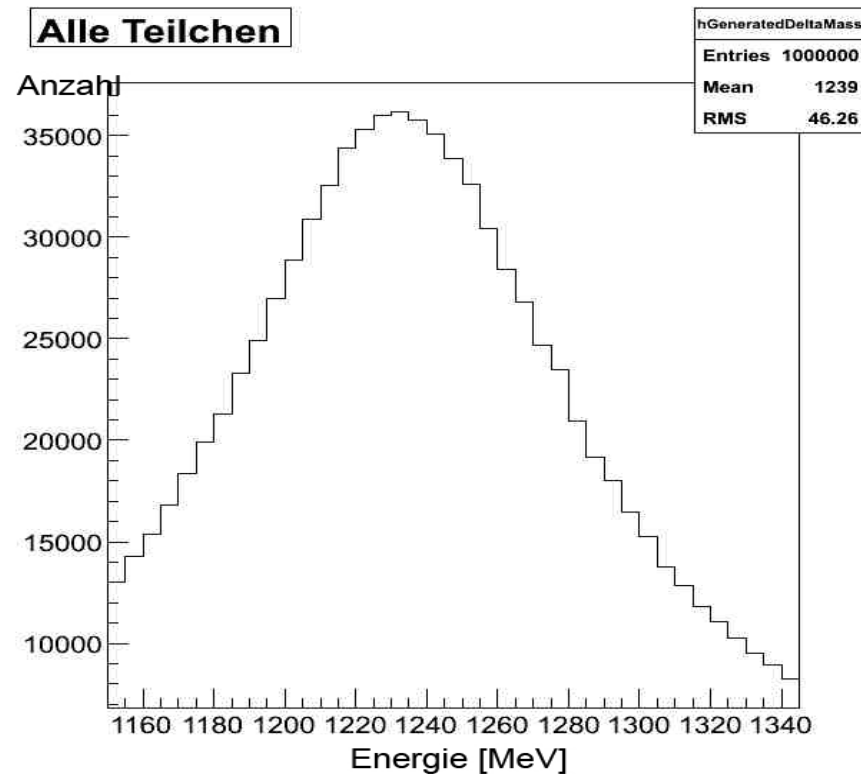
# Akzeptanz



■ Akzeptanz:  $A = \frac{N_{\text{detektiert}}}{N_{\text{generiert}}} < 1\%$



# Invariante Masse



- Statistik durch kleine Raumwinkelabdeckung des Detektors stark eingeschränkt



# Zusammenfassung

## ■ Simulation

- basiert auf statistischen Berechnungen
- Wechselwirkung von Teilchen mit Materie
- unterstützt die Durchführung von Experimenten
- ermöglicht Vergleich Theorie  $\leftrightarrow$  Experiment

## ■ Erste Simulation für das Studentexperiment

Weiteres Vorgehen:

- exakte Rekonstruktion des Aufbaus
- gleiche Auswertung für experimentelle und simulierte Daten