Energie-Kalibration

des

elektromagnetischen Kalorimeters

von

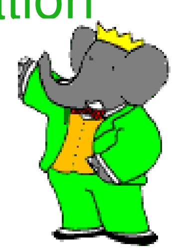
BaBar

mit

neutralen Pionen

Seminar 26. Mai 2000, TU Dresden Sven Menke, SLAC

- Einleitung
- Kalibration der Kristalle
  - mit radioaktivem Fluid
  - mit Bhabha-Ereignissen
- Globale Energie Kalibration
  - mit neutralen Pion
- Hindernisse auf dem Weg zur Kalibration
  - Nichtlinearitäten in der Elektronik
- Zusammenfassung

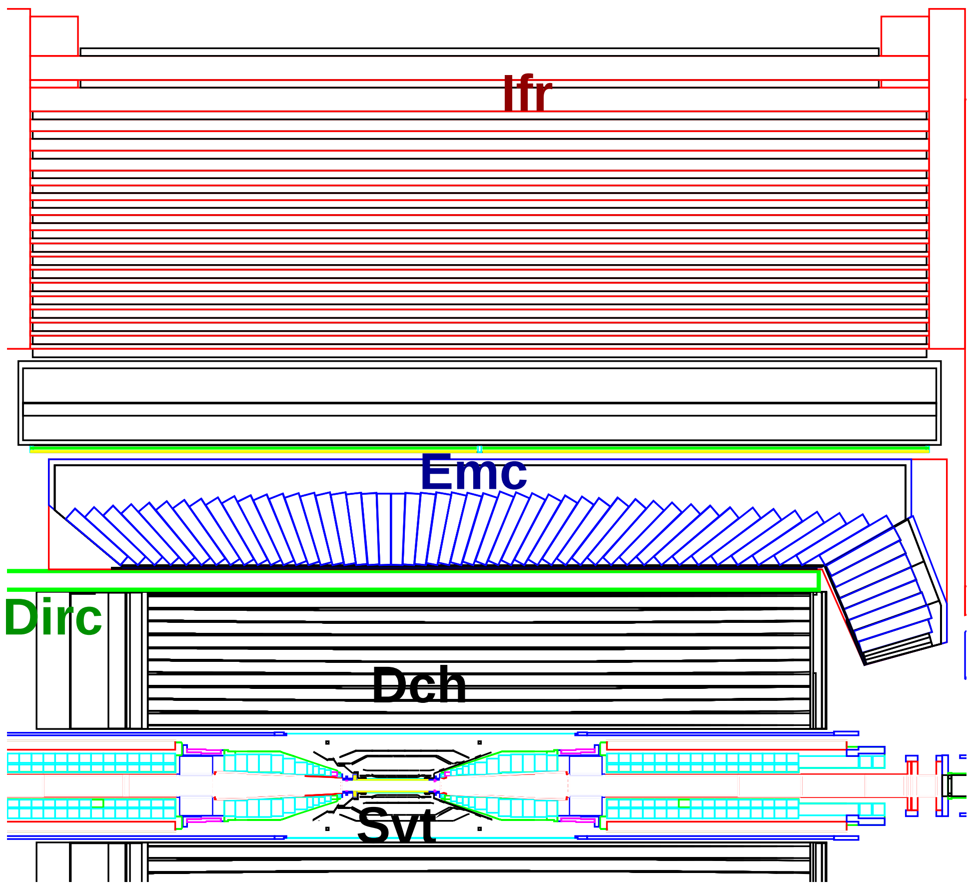


Einleitung

Warum braucht man eine Energie Kalibration?

- Standard B-Zerfälle führen im Mittel zu etwa 5.5 geladenen Teilchen und 5.5 Photonen, von denen $50\,\%$ weniger als 200 MeV Energie aufweisen
- „Übersetzen“ der ADC counts in MeV
- Ausgleichen verschiedener Effekte, die die Linearität des ausgelesenen Signals beeinflussen
  - Energiedepositionen vor und hinter dem Kalorimeter
  - Strahlungsschäden
  - Ungleichförmigkeiten der Kristalle
  - Elektronik

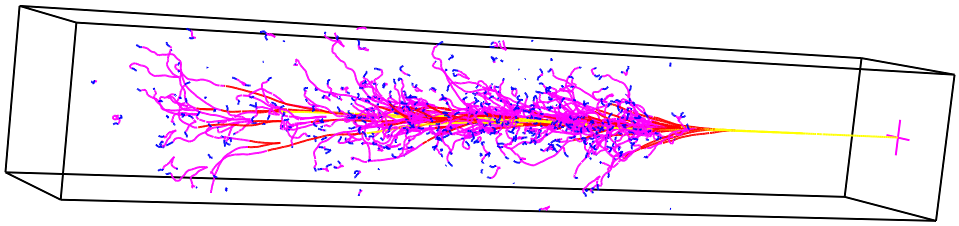
BABAR Detektor



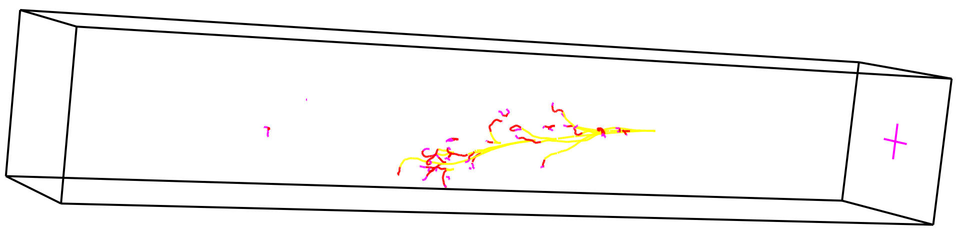
Svt:	Silizium Vertex Detektor
Dch:	Driftkammer
Dirc:	Det. für intern refl. Čerenkov-Licht
Emc:	Elektromagnetisches Kalorimeter
Ifr:	Instrumentiertes Rückführjoch

Elektromagnetische Schauer in CsI

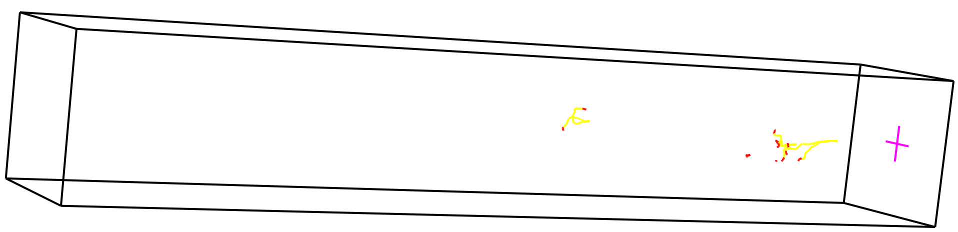
- 8 GeV Elektron



- 500 MeV Photon



- 100 MeV Photon

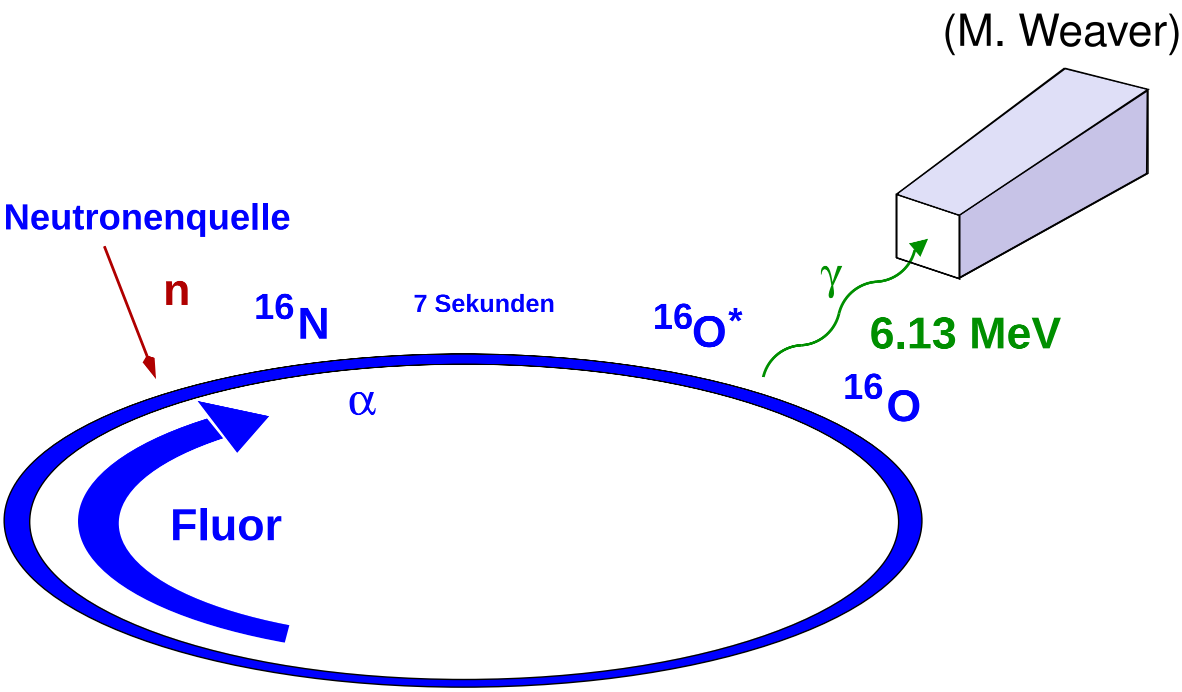


- Strahlungsschäden ⇒ ungleichmäßige Lichtausbeute

⇒ Energieabhängigkeit

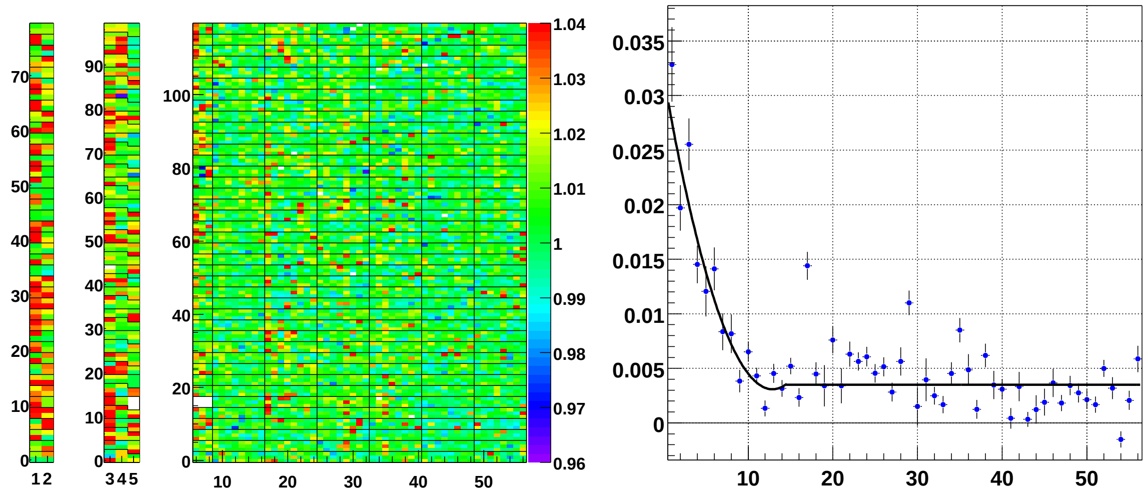
⇒ Kalibration bei 6 MeV (radioaktives Fluid) und 3-8 GeV (Bhabha-Ereignisse)

Kalibration mit radioaktivem Fluid



- Fit an gemessene Energiespektren in jedem Kristall
- Eine Kalibrationskonstante für jeden Kristall
- Definiert Energieskala bei 6 MeV

pro Woche 6580 Konstanten



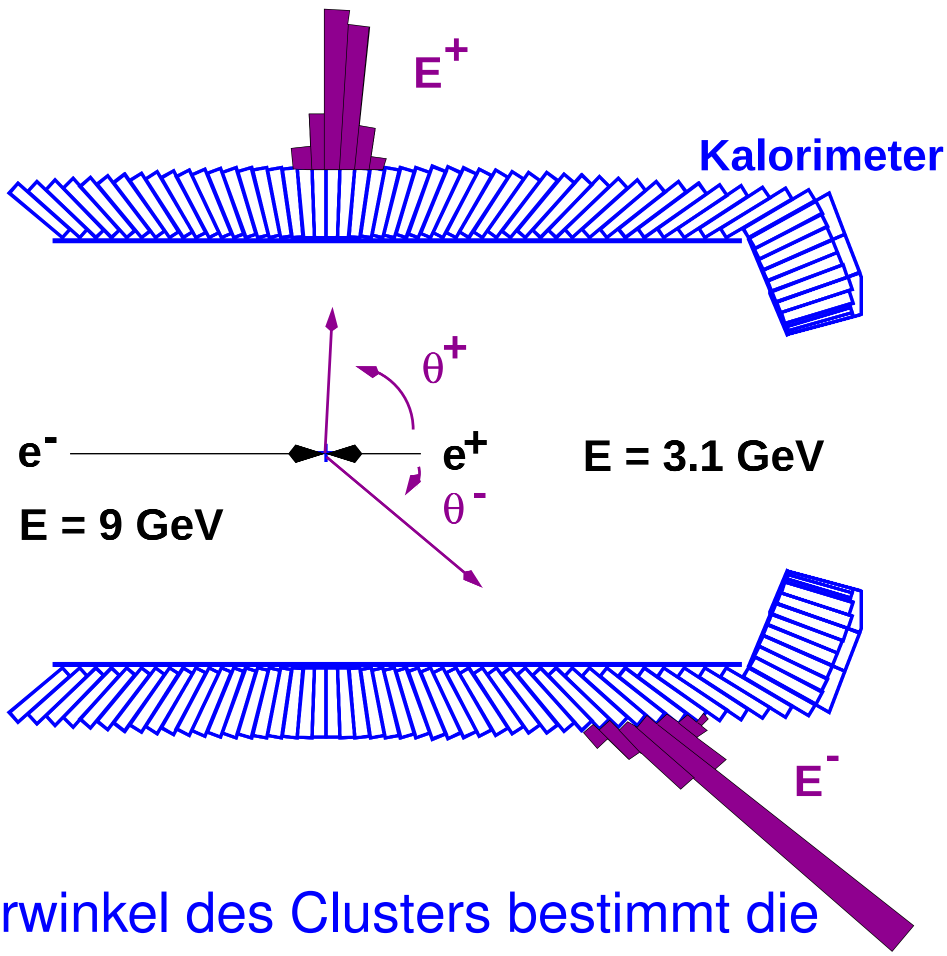
- Strahlungsschäden

➡ Differenz der Konstanten im April und im Januar bis zu $3\,\%$ in der Endkappe

- Sonst weniger als $0.5\,\%$
- Genauigkeit der Einzelkristall-Konstanten besser als $0.7\,\%$

Kalibration mit Bhabha-Ereignissen

(R. Müller-Pfefferkorn)

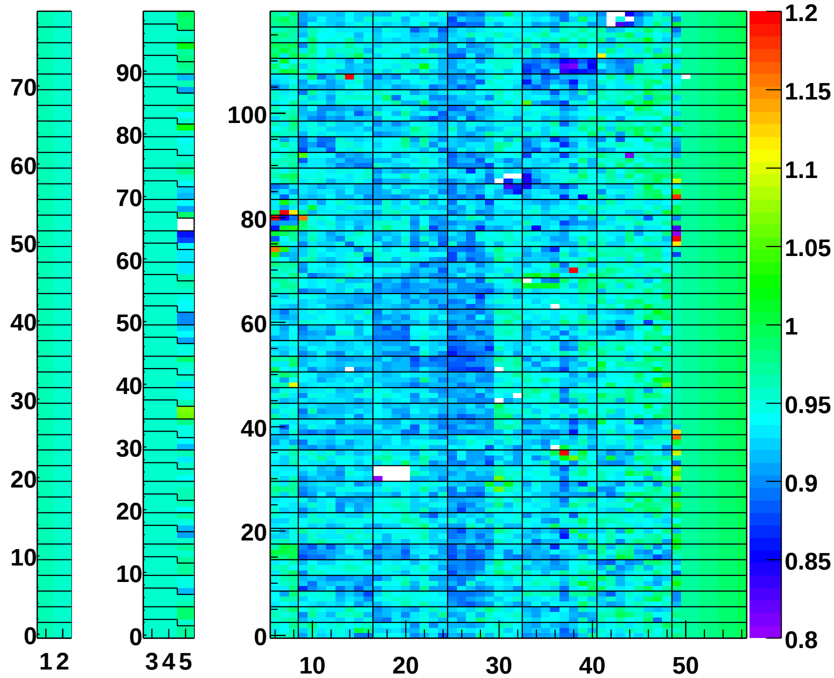


- Polarwinkel des Clusters bestimmt die erwartete Energie
- Finde Konstanten c_i, s.d.

$$\boxed{\chi^2 = \sum_{\text{Ereignisse}} \left(\left(E_{\text{erwartet}} - \sum_{\text{Kristalle}} c_i \, E_i \right)^2 / \sigma^2 \right)}$$

  minimal wird
- Definiert Energieskala bei 3-6 GeV

Konstanten im Abstand von einigen Monaten

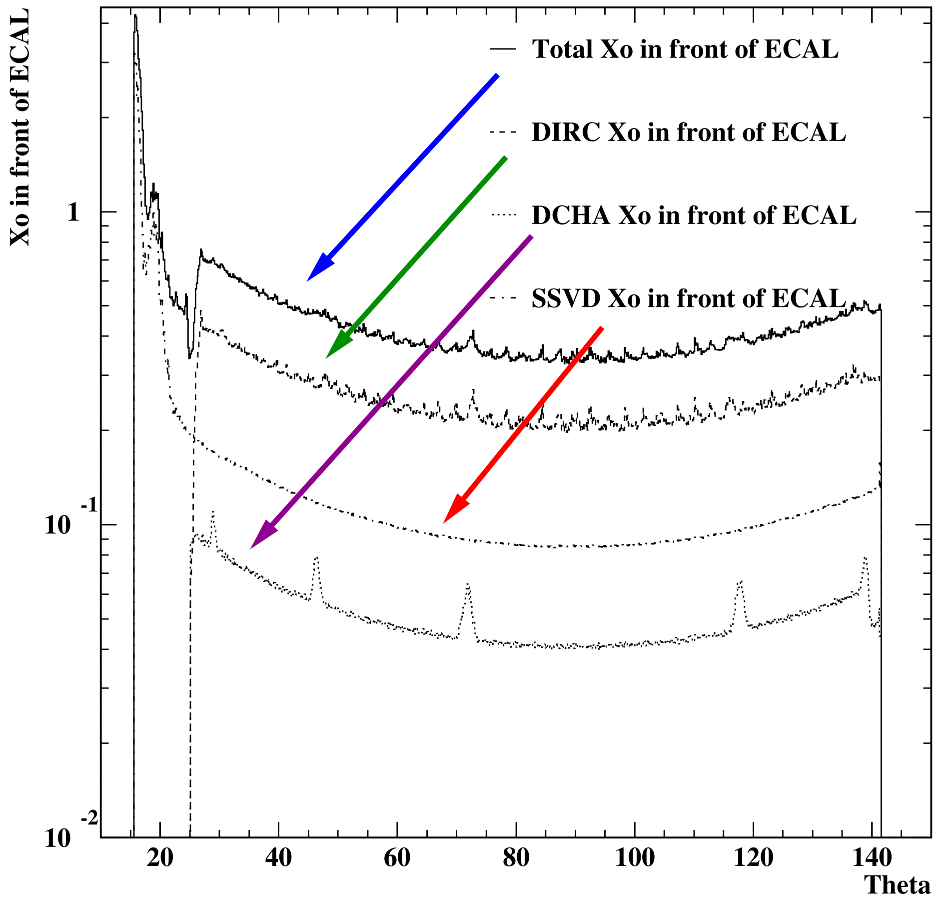


- Genauigkeit der Einzelkristall-Konstante $1 - 2\,\%$
- Mittelwert der Bhabha-Konstanten ist $8\,\%$ unter dem Mittelwert der Konstanten vom radioaktiven Fluid

⇨ Kalibrationsfunktion der Kristalle:

$$\mathrm{E}_i' = \mathrm{E}_i \left(\frac{\ln(\mathrm{E}_i) - \ln(6.13\,\mathrm{MeV})}{\ln(\mathrm{E}_i^{\mathrm{Bhabha}}) - \ln(6.13\,\mathrm{MeV})} (c_i^{\mathrm{Bhabha}} - c_i^{\mathrm{Fluid}}) + c_i^{\mathrm{Fluid}} \right)$$

Material vor dem Kalorimeter



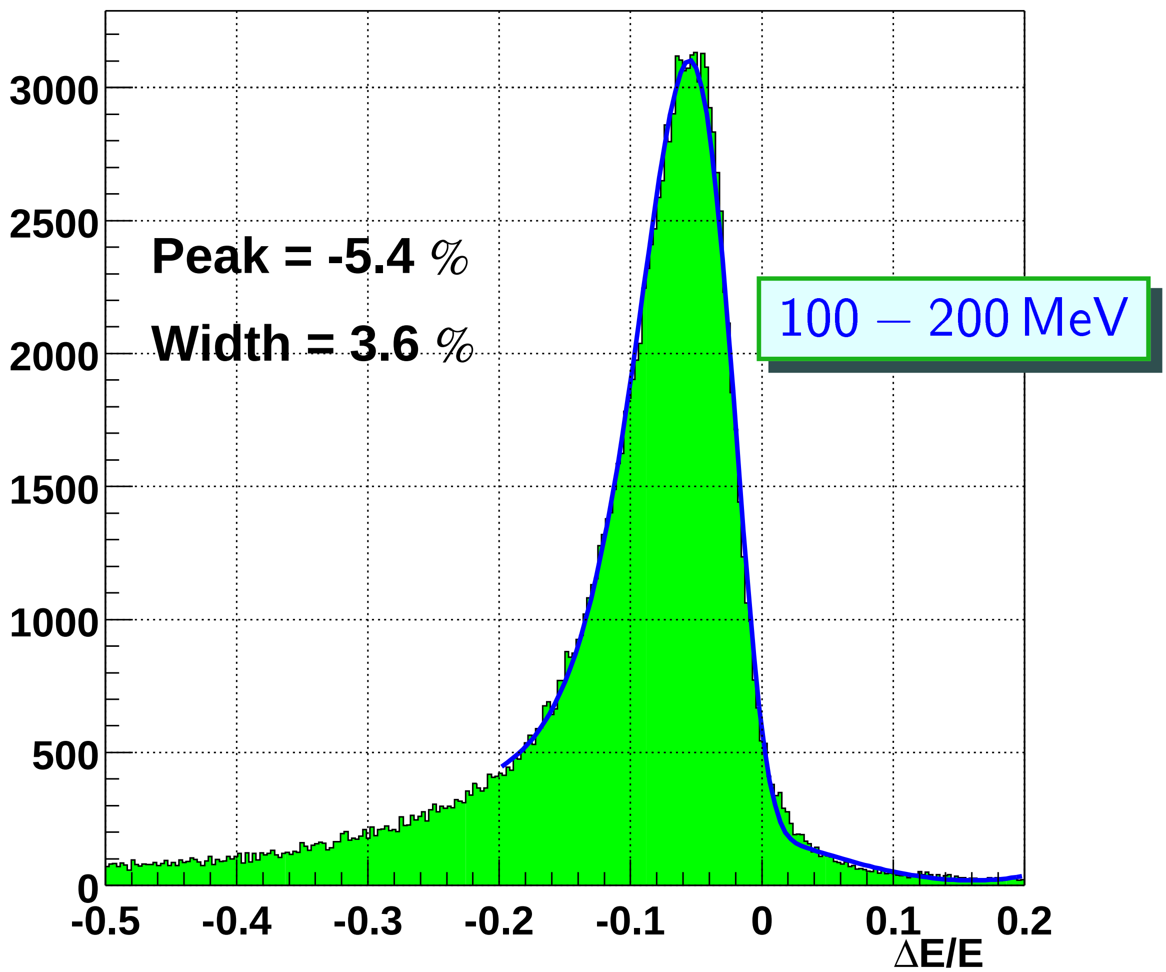
- Energieverluste im Material vor dem Kalorimeter

⇨ im Mittel verringerte deponierte Energie

- Verluste fluktuieren

⇨ verschlechterte Energieauflösung

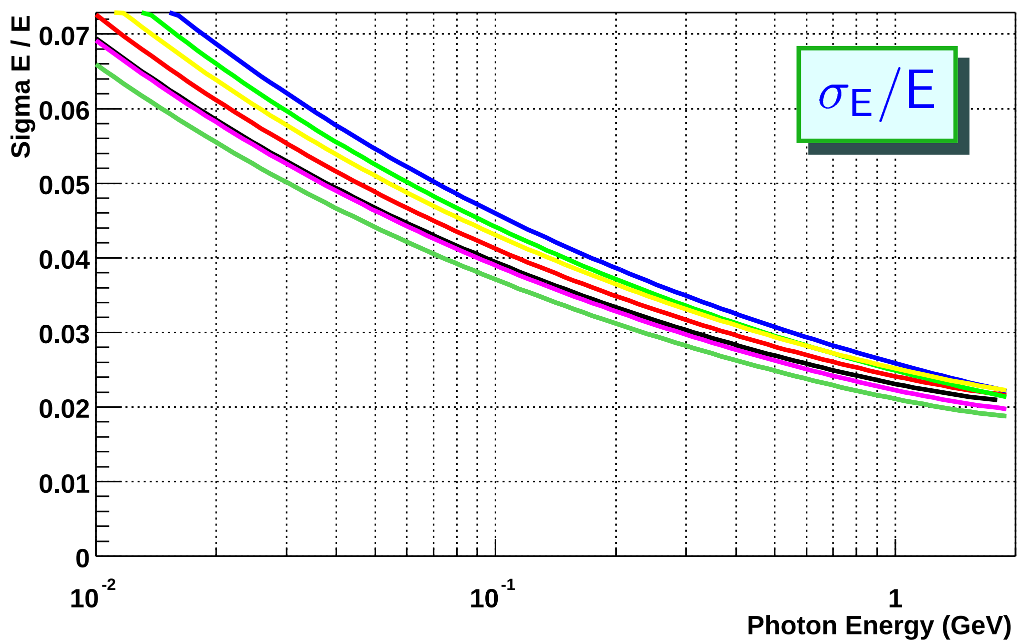
Energieauflösung für MC Photonen ...



- Energieverlust 5-6 %
- Auflösung 2-6 %
- Asymmetrische Auflösungsfunktion

... als Funktion der Energie

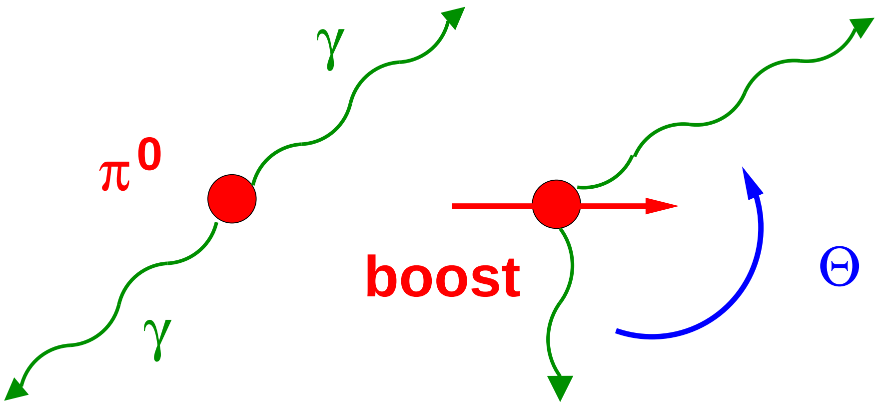
(P. Reinertsen, G. Eigen)



- Farben bezeichnen verschiedene Regionen in Theta
- Auflösung im Mittel:

$$\sigma_E/E = 2.2\%/\sqrt[4]{E} \oplus 0.3\% \oplus 0.2\%\,E$$

Prinzip der Pi0 Kalibration



$E_1 = E_2 = 67.5$ MeV

$(E-p)/2 < E_1 \neq E_2 < (E+p)/2$

- Nutze die bekannte Pionmasse $\boxed{m_{\pi^0} = \sqrt{2E_1E_2(1-\cos\theta)}}$, um E_1 und E_2 zu korrigieren
- Korrigiert von der deponierten Energie zur ursprünglichen Energie des Photons

Kalibrationsfunktion

(A. Bukin, H. Marsiske)

$$\begin{aligned} E' &= E \times \exp(a_0 \\ &+ a_1 \ln E + a_2 \ln^2 E + a_3 \ln^3 E \\ &+ a_4 \cos\theta + a_5 \cos^2\theta + \ldots + a_8 \cos^5\theta \\ &+ a_9 \ln E \cos\theta) \end{aligned}$$

- Energieverlust vor und hinter dem Kalorimeter hängt von der Schauertiefe ab

⇒ Energieabhängigkeit als Polynom im Logarithmus der Energie

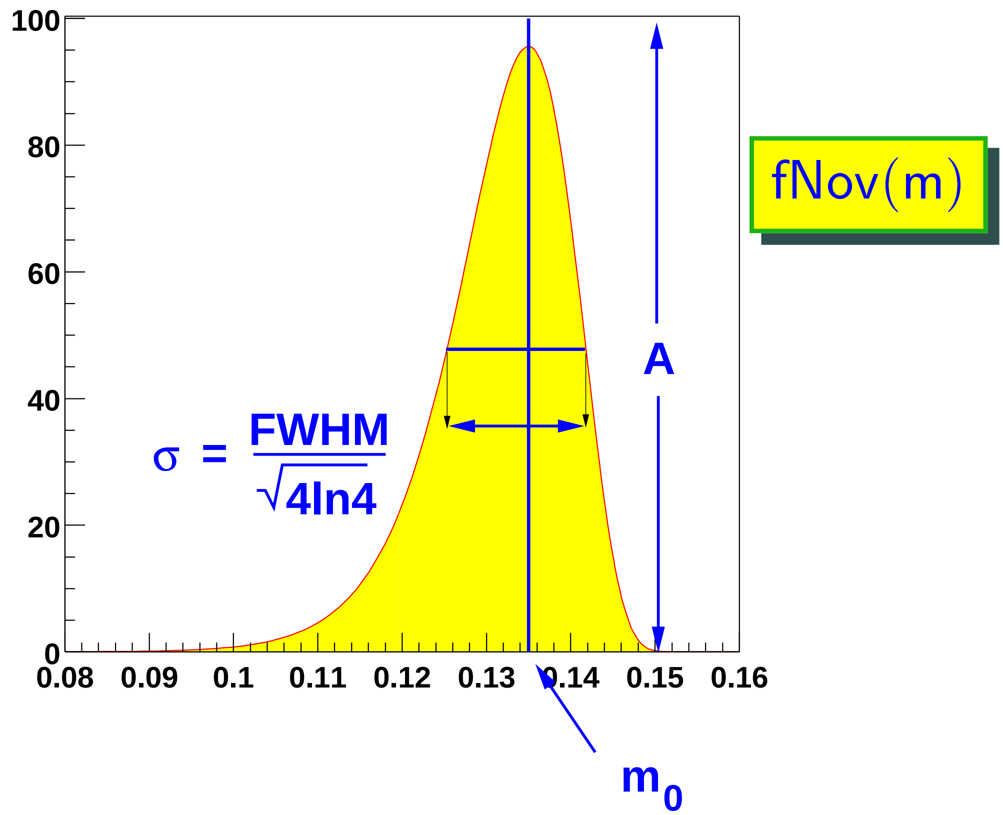
- Material vor dem Kalorimeter / Tilt der Kristalle variieren mit Theta

⇒ Winkelabhängigkeit als Polynom in Cosinus Theta

Wie bestimmt man die Koeffizienten?

1. Selektiere Photonkandidaten und kalibriere mit der alten Kalibrationsfunktion
2. Bilde alle möglichen Kombinationen selektierter Photonkandidaten
3. Histogrammiere 2-Photon-Masse in Bins von $\boxed{E_1, E_2}$ (2 Einträge pro Kombination) und in Bins von $\boxed{(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)/2}$ (1 Eintrag pro Kombination)
4. Anpassung der Funktion $\boxed{\mathrm{fNov}(m) + \mathrm{poly}(m)}$ an die Histogramme
5. Verwende die „Peak"-Massen m_0 aus den Anpassungen und trage $\boxed{\ln(m_{\pi^0}/m_0)}$ gegen $\ln E$ und $\cos\theta$ auf
6. Anpassung eines Polynoms 3. Grades in $\ln E$ an $\boxed{\ln(m_{\pi^0}/m_0)(\ln E)}$ und eines Polynoms 2. Grades in $\cos\theta$ an $\boxed{\ln(m_{\pi^0}/m_0)(\cos\theta)}$
7. Addiere die Koeffizienten dieser Polynome zu den alten Koeffizienten
8. Zurück zu 1 bis sich die Koeffizienten nicht mehr ändern

Die „Novosibirsk“-Funktion



$$A \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln^2\left(1 + t\frac{\sinh(t\sqrt{\ln 4})}{t\sqrt{\ln 4}}\frac{m - m_0}{\sigma}\right)}{t^2} + t^2\right)\right]$$

- Gauß plus exponentieller „tail“
- geht in Gauß-Funktion über für $t \to 0$
- Normierung so, daß das Integral $(-\infty, +\infty)$ dem einer Gauß-Funktion mit (A, m_0, σ) entspricht

Warum $\ln(m_{\pi^0}/m_0)$?

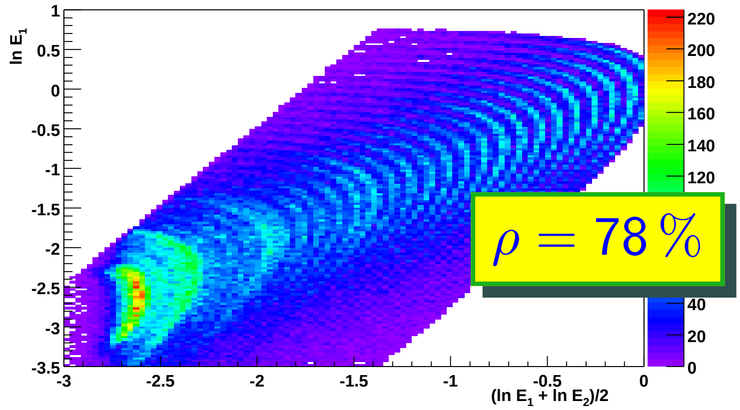
Beispiel einer Iteration:

$$
\begin{aligned}
\ln(m_{\pi^0}/m_0) &= \ln m_{\pi^0} - 0.5 * (\ln 2 + \ln E_1 + \ln E_2 \\
&\qquad + \ln(1 - \cos\theta)) \\
&= 0.5 * (\ln(E_1'/E_1) + \ln(E_2'/E_2)) \\
&= \quad a_0 \\
&\quad + a_1\,(\ln E_1 + \ln E_2)/2 \\
&\quad + a_2\,(\ln^2 E_1 + \ln^2 E_2)/2 \\
&\quad + a_3\,(\ln^3 E_1 + \ln^3 E_2)/2 \\
&\quad + a_4(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)/2 \\
&\quad + a_5(\cos^2\theta_1 + \cos^2\theta_2)/2 + \ldots
\end{aligned}
$$

- Fit an $\ln E$ gibt a_{0-3}
- Fit an $(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)/2$ gibt $a_{4,5}$

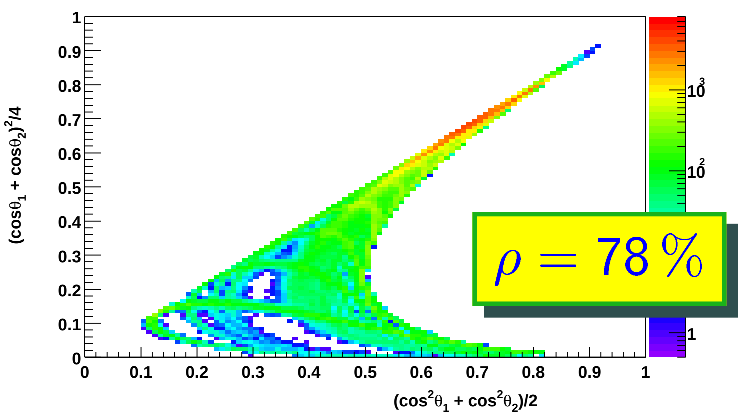
Eindimensionale Verteilungen reichen aus

Korrelation von $\ln E_1$ und $(\ln E_1 + \ln E_2)/2$

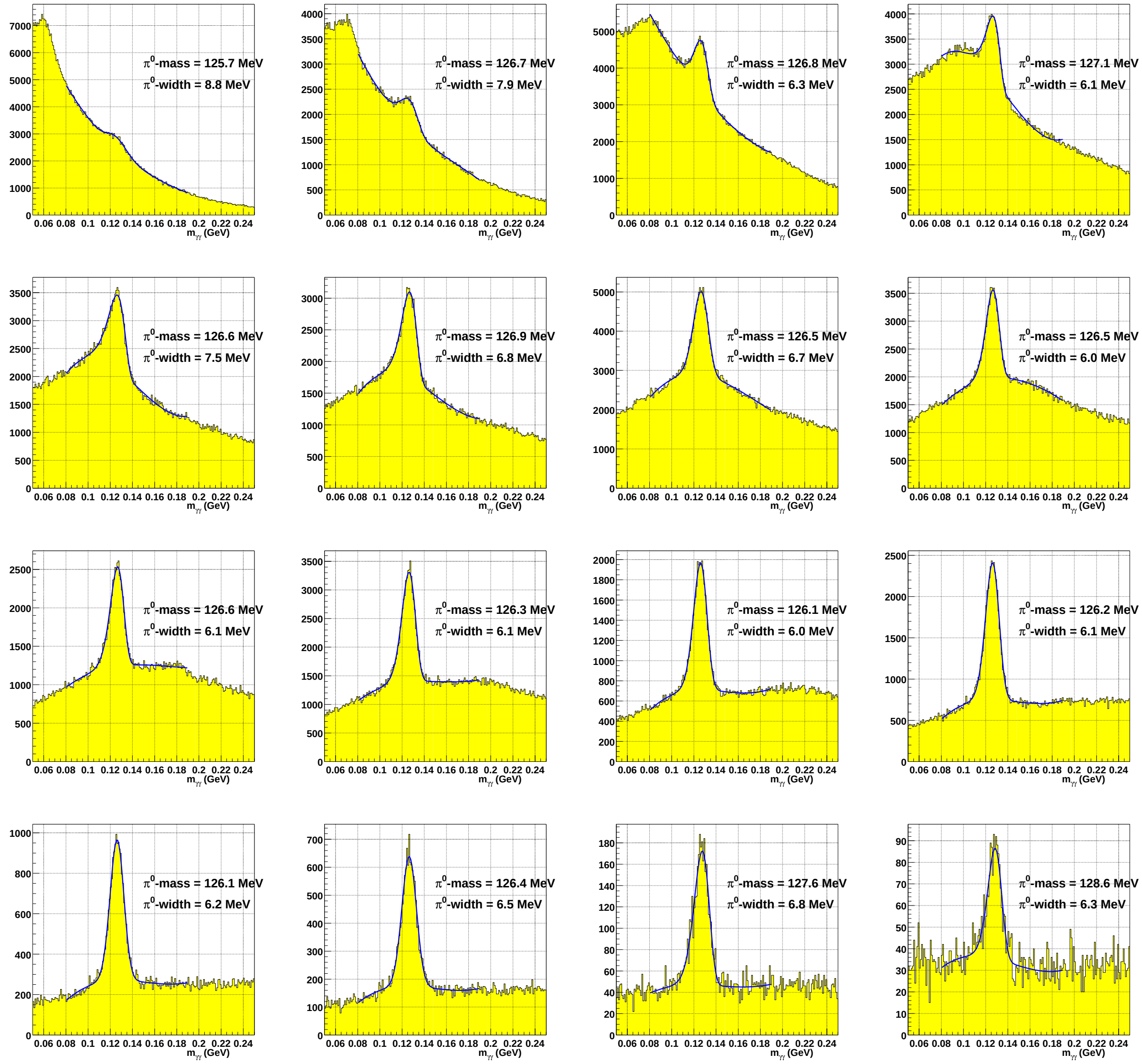


Exponent n	$\rho(\ln^n E_1, (\ln^n E_1 + \ln^n E_2)/2)$ (%)
1	78
2	76
3	71

Korrelation von $(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)^2/4$ und $(\cos^2\theta_1 + \cos^2\theta_2)/2$

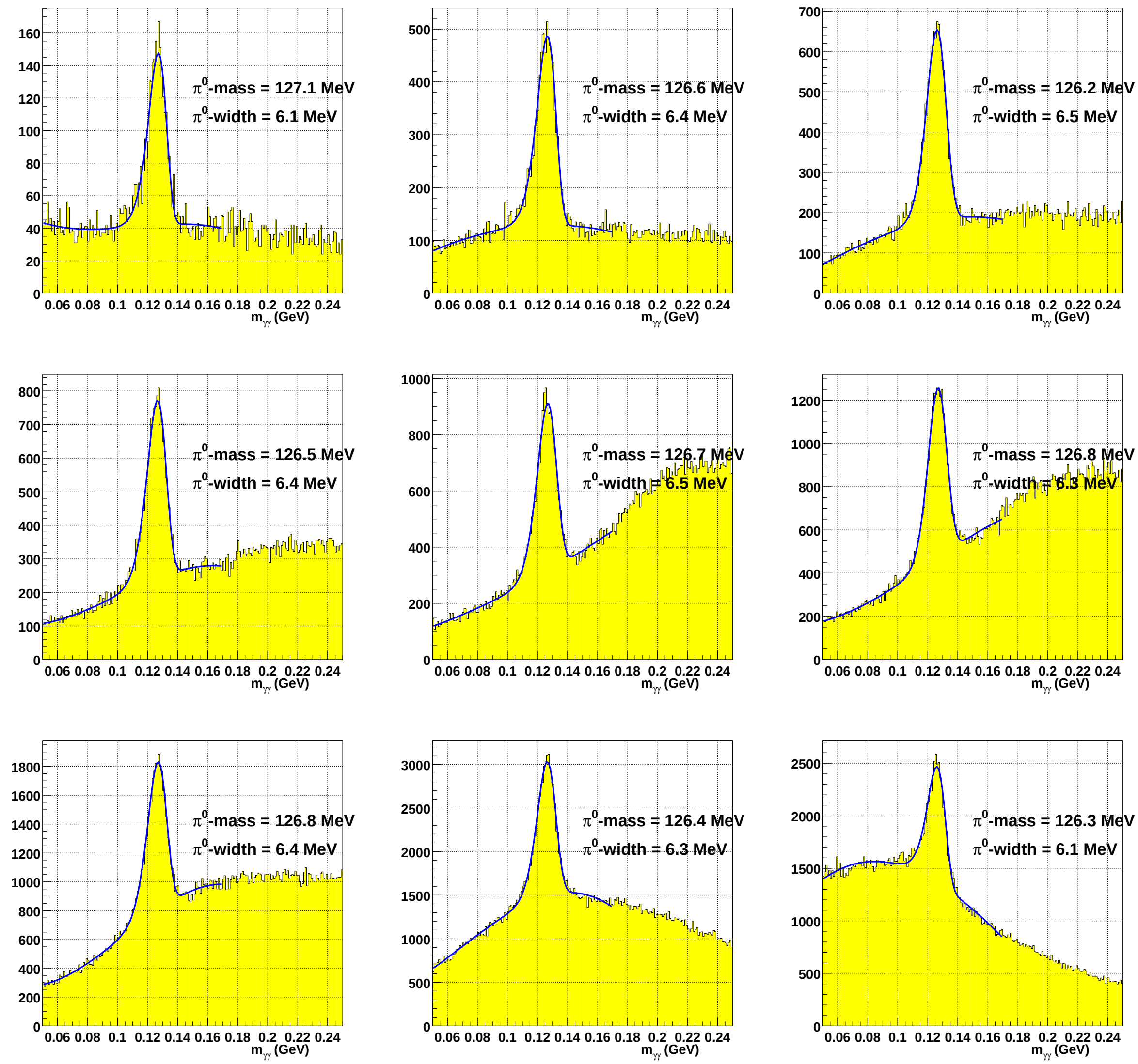


Pi0 Fits in Energie-Bins



MeV	1	2	3	4	
0	30	40	50	75	100
4	100	125	150	200	250
8	250	300	400	500	750
12	750	1000	1500	2000	3000

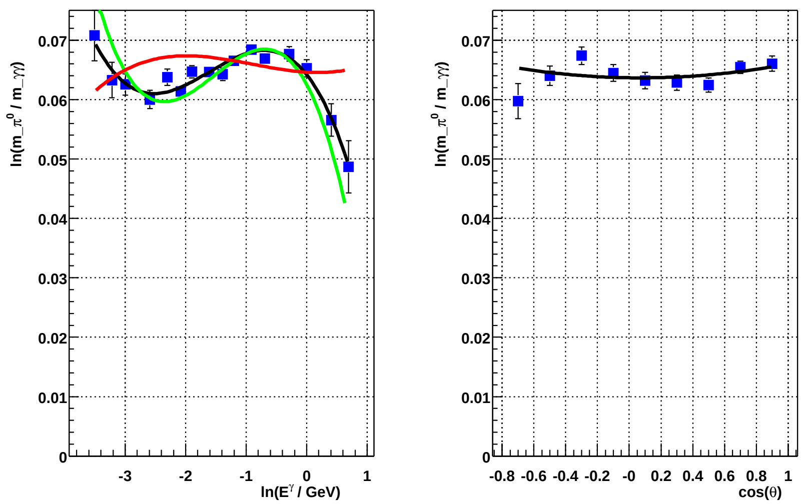
Pi0 Fits in Cos(Theta)-Bins



$\cos\theta$	1	2	3	
0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2
3	-0.2	0.0	0.2	0.4
6	0.4	0.6	0.8	1.0

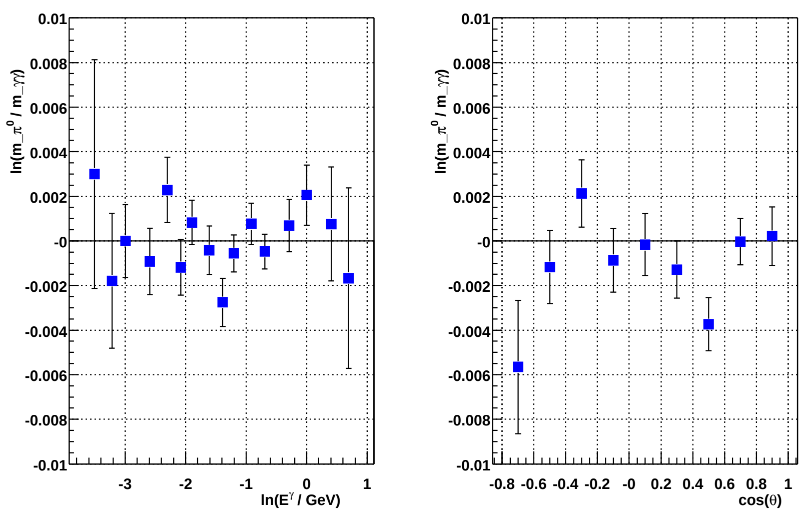
Pi0 Kalibration mit März 2000 Daten

1. Iteration



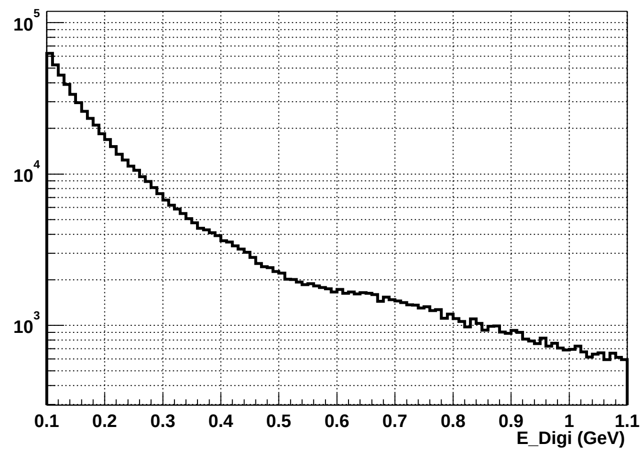
rot: MC Kalibrationsfunktion (S. Otto)

Nach 2. Iteration



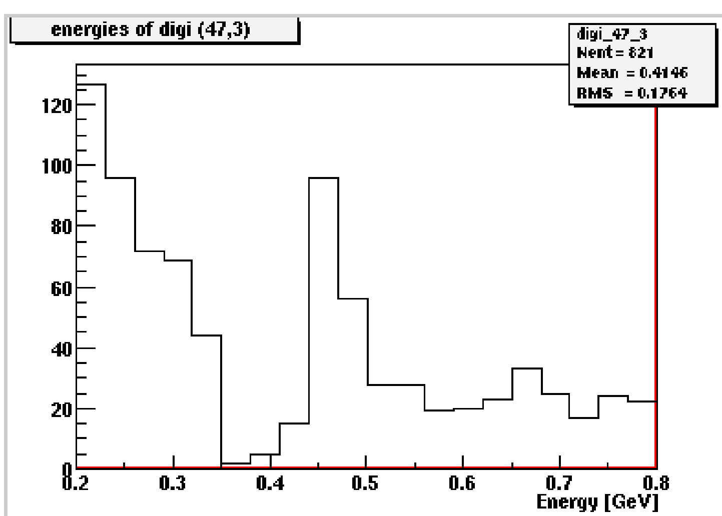
Hindernisse auf dem Weg zur kalibrierten Energie

Ein Blick auf das gemittelte Energiespektrum der Kristalle



- im gemittelten Spektrum sind keine Anomalien zu erkennen
- in Spektren einzelner Kristalle ist ein Problem entdeckt worden (T. Brandt)

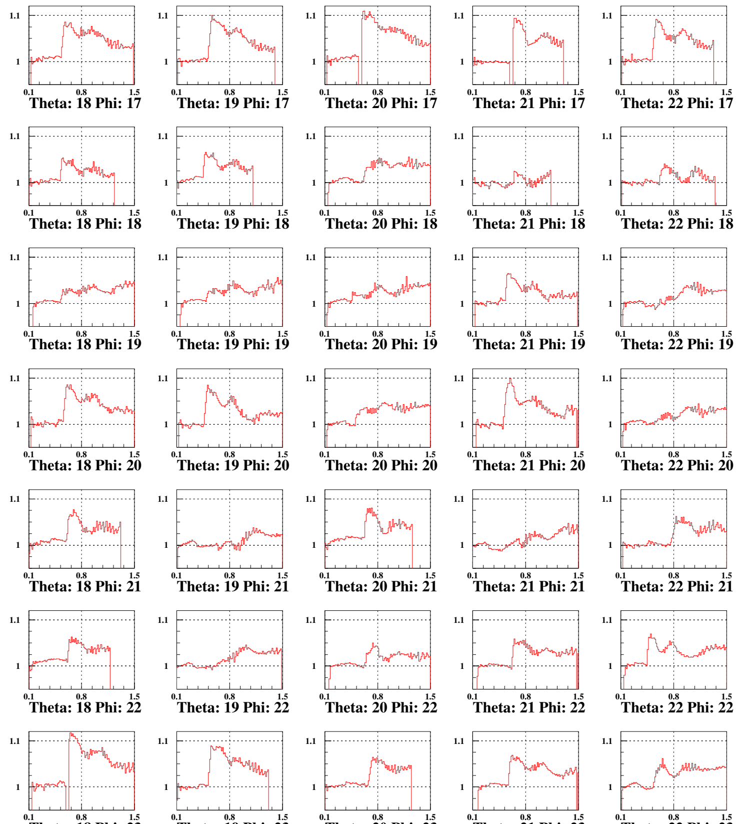
ein typisches Spektrum eines Kristalls



Nicht Linearitäten in der Elektronik ...

Messungen der Linearität mit dem Lichtpulser-System

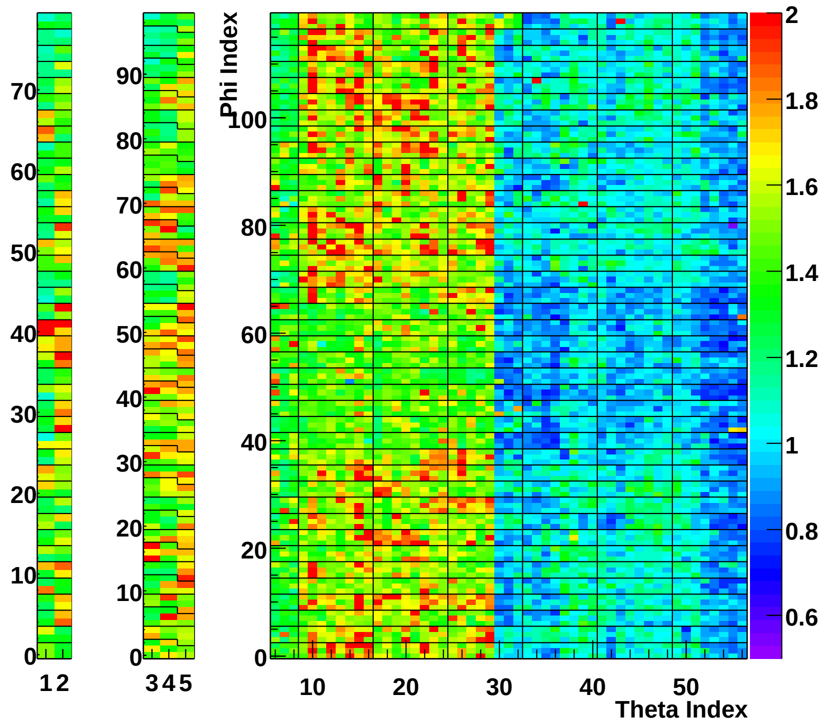
(M. Kocian)



- Deutliche Sprünge in allen Spektren
- Effekt zu unterschiedlich für „echte“ Pulse und Lichtpulser Signale, um mit diesen Spektren direkt zu korrigieren

Nicht Linearitäten in der Elektronik ...

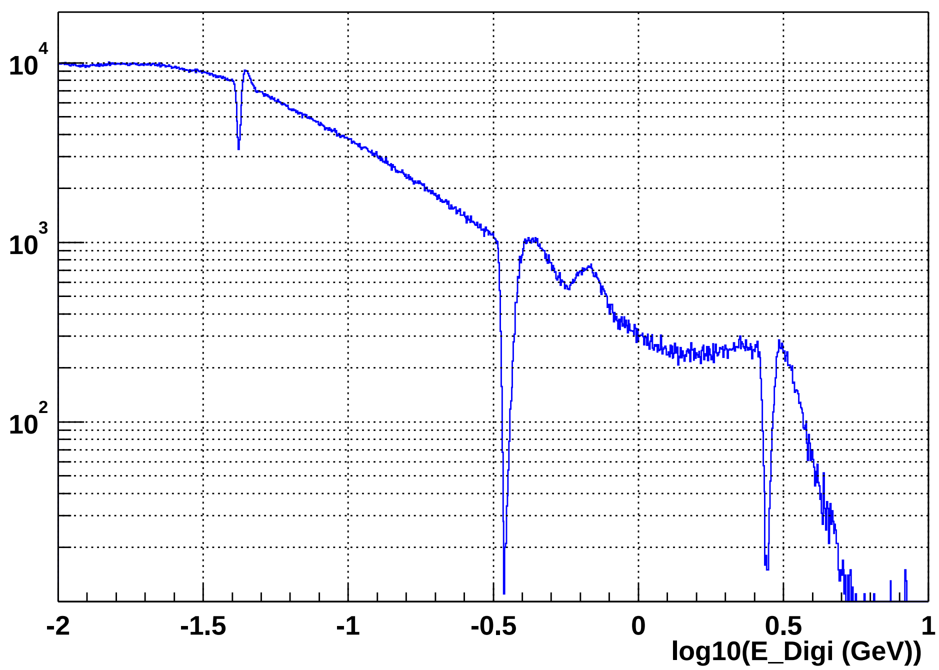
Lichtverstärkungs-Konstanten für alle Kristalle



- Energiespektren erhält man durch Multiplikation der „Roh“-Werte mit den Lichtverstärkungs-Konstanten (zwischen 0.7 und 2)
- Energie geteilt durch Lichtverstärkungs-Konstante erlaubt das Zusammenfassen größerer Kristallgruppen

Nicht Linearitäten in der Elektronik ...

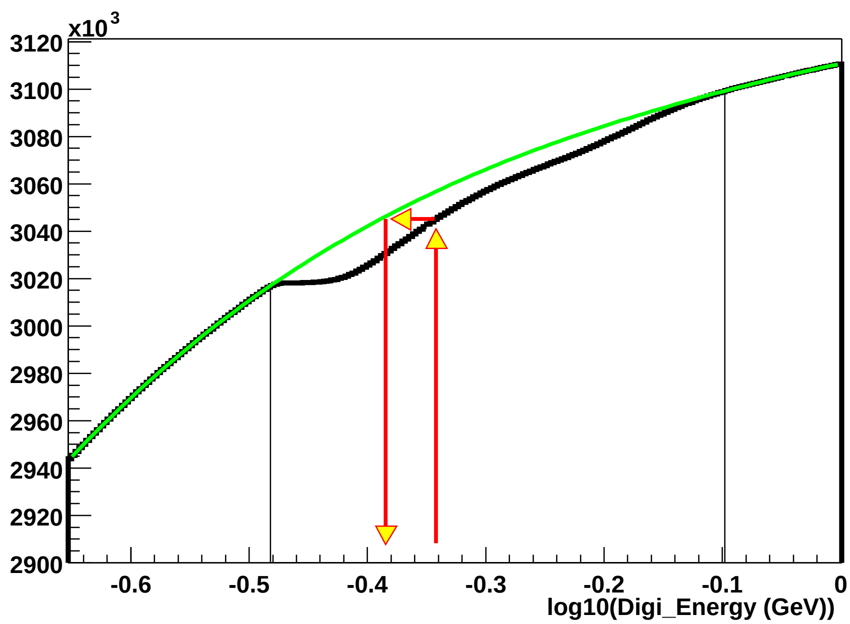
Spektrum von log10(Energie / Lichtverstärkung)



- Lücken an den drei Schaltübergängen des Verstärkerchips (40 MeV, 320 MeV, 2640 MeV)
- zusätzliche „wiggle“ zwischen 450 MeV und 800 MeV

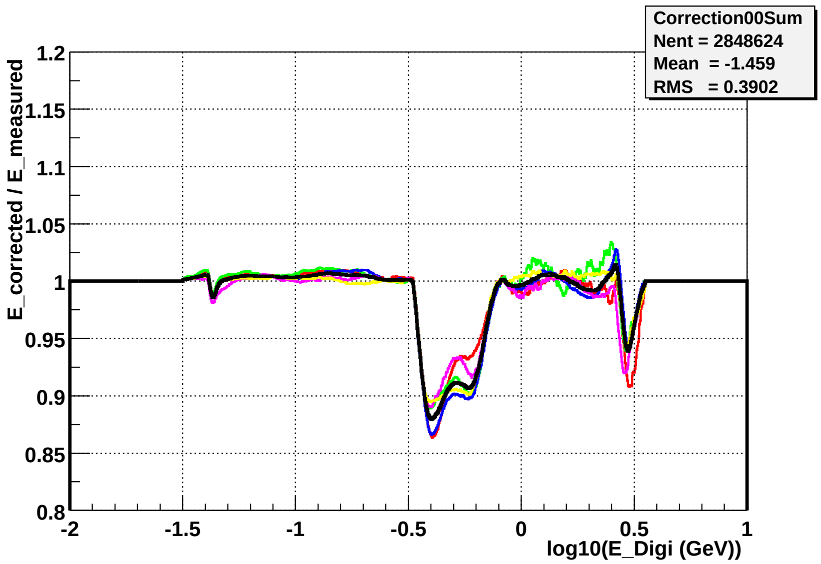
Nicht Linearitäten in der Elektronik ...

- Wie Korrigiert man das?
  - die richtige Korrekturfunktion erhält man nur, wenn die ursprüngliche Form des Spektrums bekannt ist
  - eine näherungsweise Korrektur erhält man, indem man annimmt, daß das Spektrum keine Sprünge enthält
  - nach Anpassung von Polynomen an das integrierte Spektrum kann man mit der „Inverse-Transform-Method“ Korrekturfunktionen ausrechnen



Nicht Linearitäten in der Elektronik ...

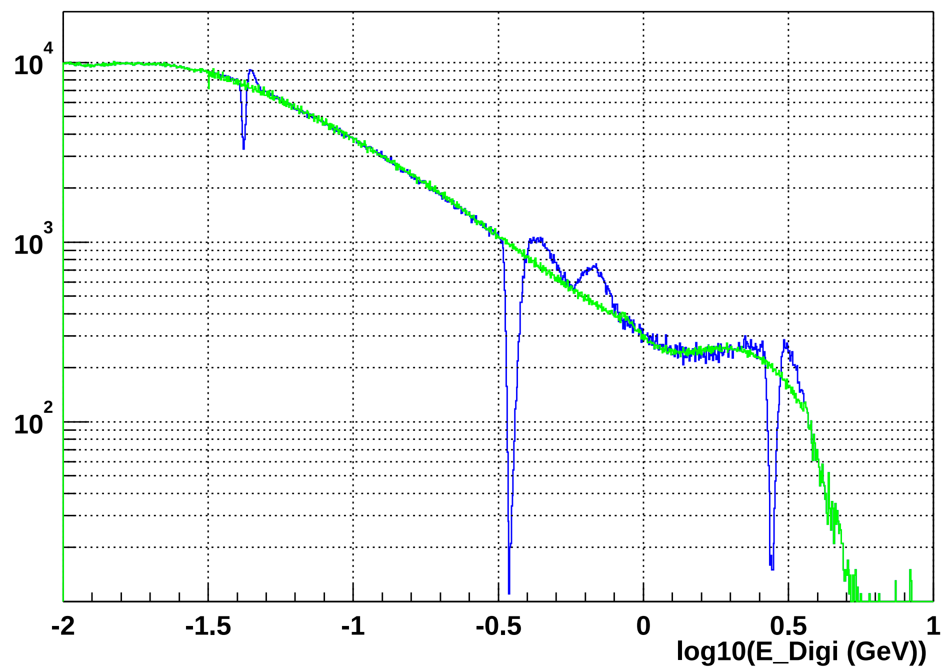
$E_{\text{korrigiert}}/E_{\text{gemessen}}$ gegen $\log 10(E)$



- die schwarze Kurve zeigt die mittlere Korrektur
- die farbigen Linien repräsentieren Korrekturen für Bereiche mit unterschiedlicher Elektronik
- die größte Korrektur ist $-12\,\%$ bei einer Energie von $400\,\text{MeV}$ ($280\,\text{MeV}$ bis $800\,\text{MeV}$ nach Multiplikation mit Lichtverstärkung)
- diese Korrekturfunktionen sind nun Teil der Rekonstruktionssoftware von BABAR

Nicht Linearitäten in der Elektronik ...

Vergleich des korrigierten mit dem unkorrigierten Spektrum

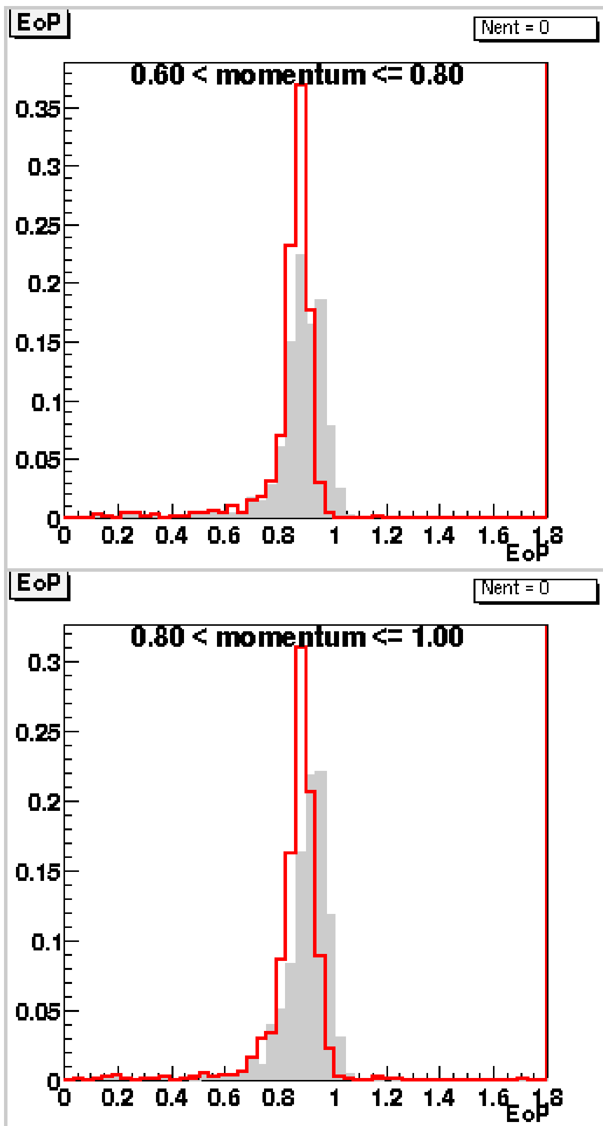


- in grün das korrigierte Spektrum
- in blau das unkorrigierte Spektrum

Nicht Linearitäten in der Elektronik ...

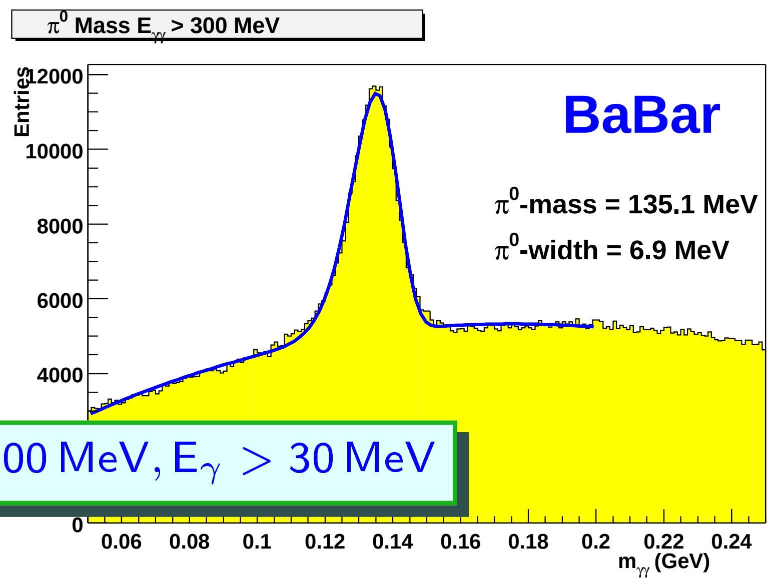
Einfluß der Korrektur auf E/p für Elektronen

(T. Brandt)



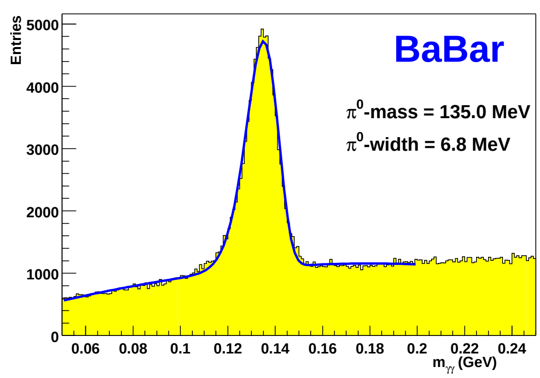
- grau unkorrigiert
- rot korrigiert

Pi0s nach allen Korrekturen

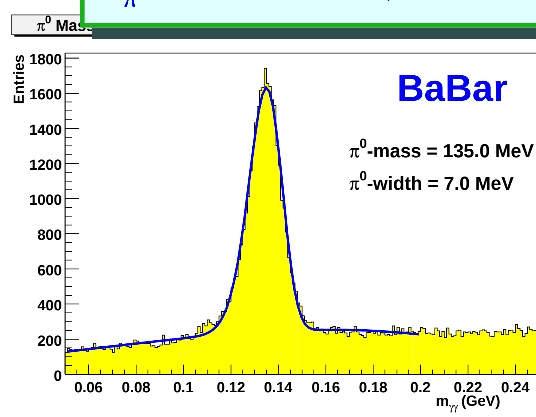


$E_{\pi^0} > 300$ MeV, $E_\gamma > 30$ MeV

$E_{\pi^0} > 500$ MeV, $E_\gamma > 100$ MeV

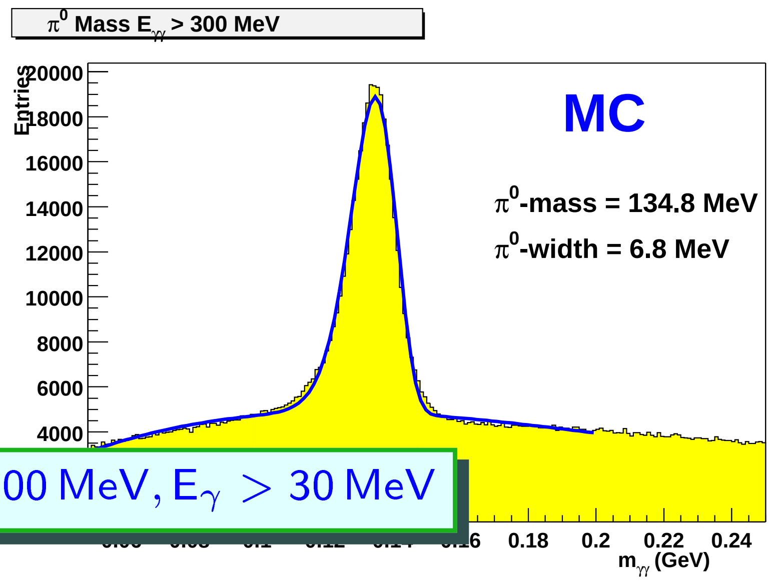


$E_{\pi^0} > 1000$ MeV, $E_\gamma > 100$ MeV



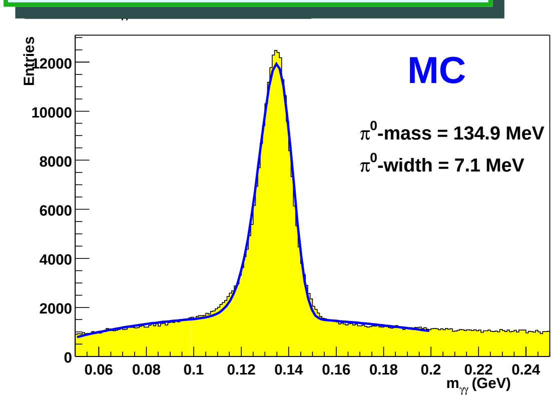
- $E_{\pi^0} > 300\,\text{MeV}$: $\sigma_{\pi^0} = 6.9\,\text{MeV}\ (5.1\,\%)$
- $E_{\pi^0} > 500\,\text{MeV}$: $\sigma_{\pi^0} = 6.8\,\text{MeV}\ (5.0\,\%)$
- $E_{\pi^0} > 1000\,\text{MeV}$: $\sigma_{\pi^0} = 7.0\,\text{MeV}\ (5.2\,\%)$

Vergleich mit Monte Carlo

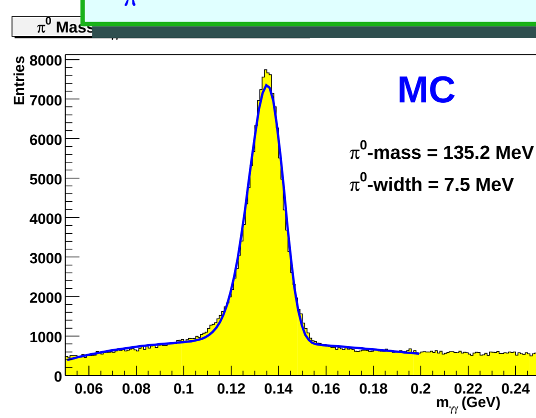


$E_{\pi^0} > 300$ MeV, $E_\gamma > 30$ MeV

$E_{\pi^0} > 500$ MeV, $E_\gamma > 100$ MeV

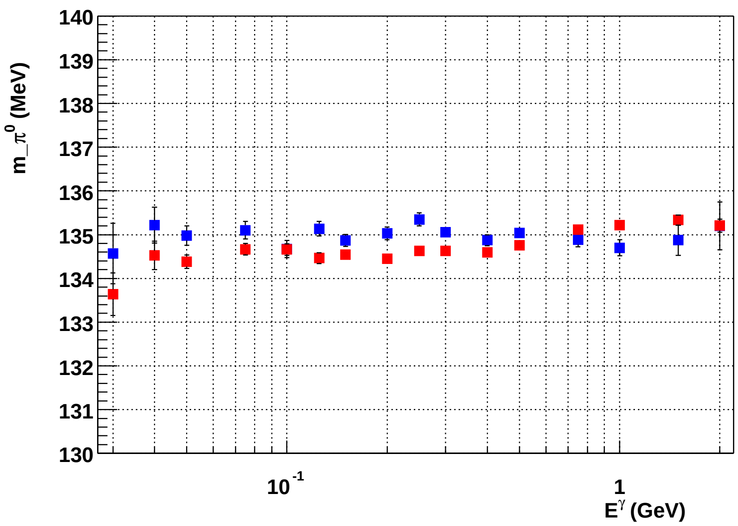


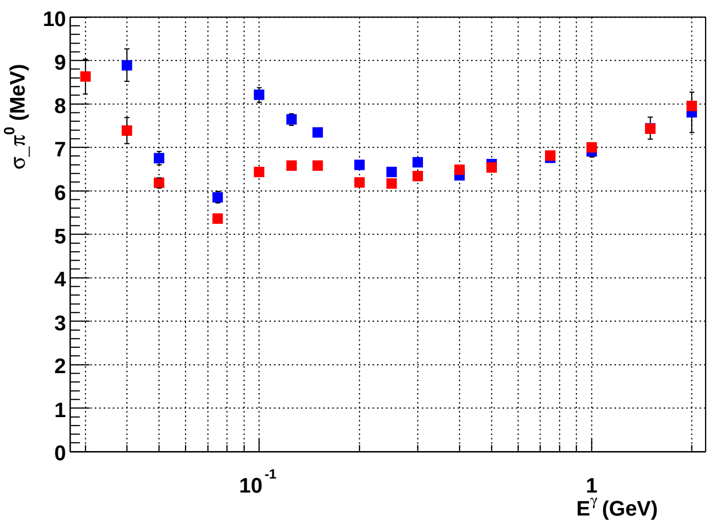
$E_{\pi^0} > 1000$ MeV, $E_\gamma > 100$ MeV



- $E_{\pi^0} > 300$ MeV: $\sigma_{\pi^0} = 6.8$ MeV (5.0 %)
- $E_{\pi^0} > 500$ MeV: $\sigma_{\pi^0} = 7.1$ MeV (5.3 %)
- $E_{\pi^0} > 1000$ MeV: $\sigma_{\pi^0} = 7.5$ MeV (5.5 %)
  (inzwischen behobenes ClusterSplitter Problem)

Vergleich mit Monte Carlo





- In blau März 2000 Daten nach π^0-Kalibration
- In rot Monte Carlo
- Systematik $< 1\,\%$

Zusammenfassung

- zwei Kalibrationsmethoden des Kalorimeters von **BABAR** zur Einzelkristallkalibration bei verschiedenen Energien; Genauigkeit:
  $< 0.7\,\%$ (radioaktives Fluid);
  $1 - 2\,\%$ (Bhabhas)
- Globale Energie Kalibration für Photonen mit π^0s; Genauigkeit $< 1.0\,\%$
- Limitierung zur Zeit durch Nichtlinearitäten bis zu $12.0\,\%$ in der Elektronik;
  Offline-Korrekturen reduzieren den Effekt auf $< 1.0\,\%$
- Hardware wird im September modifiziert