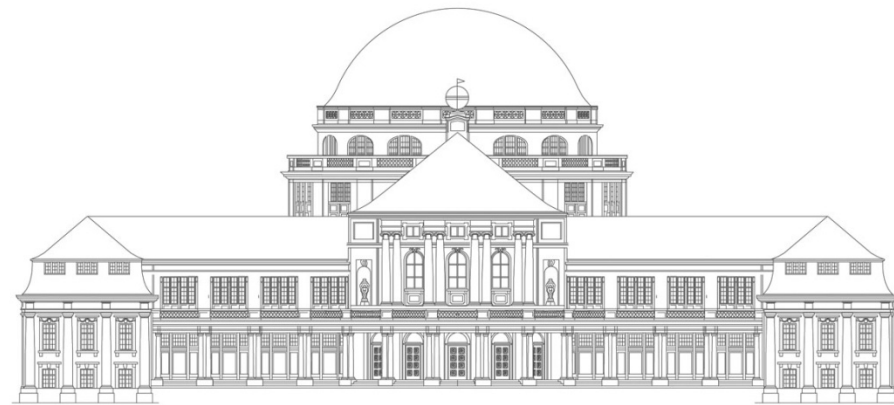


Die Winkelvergleichsmethode am Beispiel des OPERA-Spektrometers

Tagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft
Dresden 2013

Mikko Meyer, Benjamin Büttner

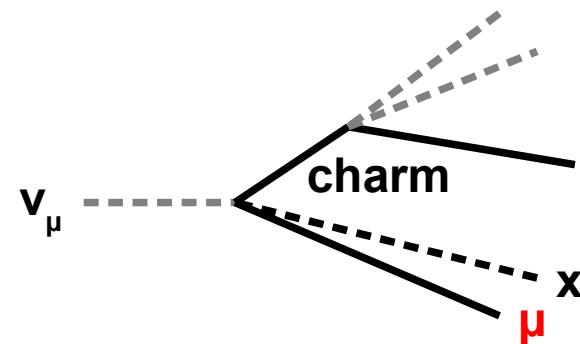


Motivation:

- OPERA: **O**scillation **P**roject with **E**mulsion **T**racking **A**pparatus

$$P(\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}) \approx \sin^2 2\theta_{23} \sin^2 \left(\Delta m_{23}^2 \frac{L}{4E} \right)$$

- Identifikation über τ -Zerfall:
 - CC Interaktion
 - τ hat spezielle Zerfalls-Topologie
 - Zerfall des Leptons innerhalb von $600 \mu\text{m}$
- Untergrund:
 - CC-Interaktion mit charm Produktion
 - Primäres μ^+ wird nicht detektiert



Motivation:

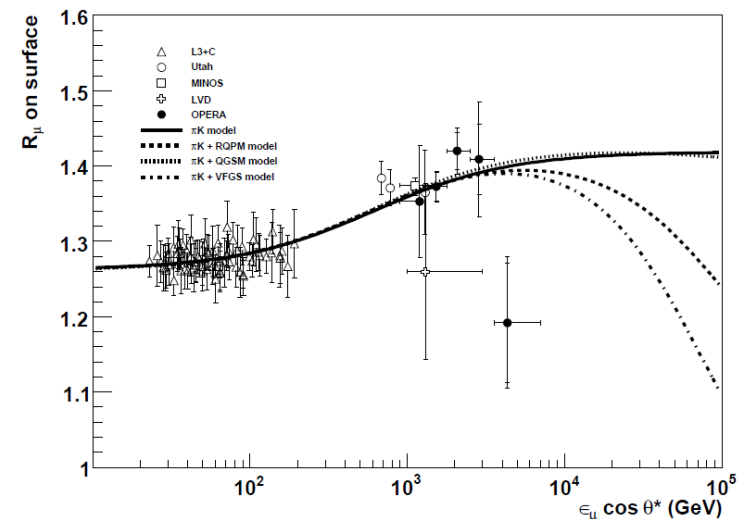
- Ladungsbestimmung und Impulsbestimmung:
 - Wichtig für die Hauptanalyse von OPERA (τ appearance)
 - Kleine Fehlidentifikation sehr wichtig

 - Weitere physikalische Anwendungen:
 - Ladungsverhältnis atmosphärischer Myonen
 - Geschwindigkeit von Neutrinos
 - Unterschiede bei Neutrinos und Anti-Neutrinos?
 - Atmosphärische Neutrinos
 - CPT Invarianz?
- Zuverlässige Ladungsbestimmung
+ Maß für Güte wünschenswert

Motivation:

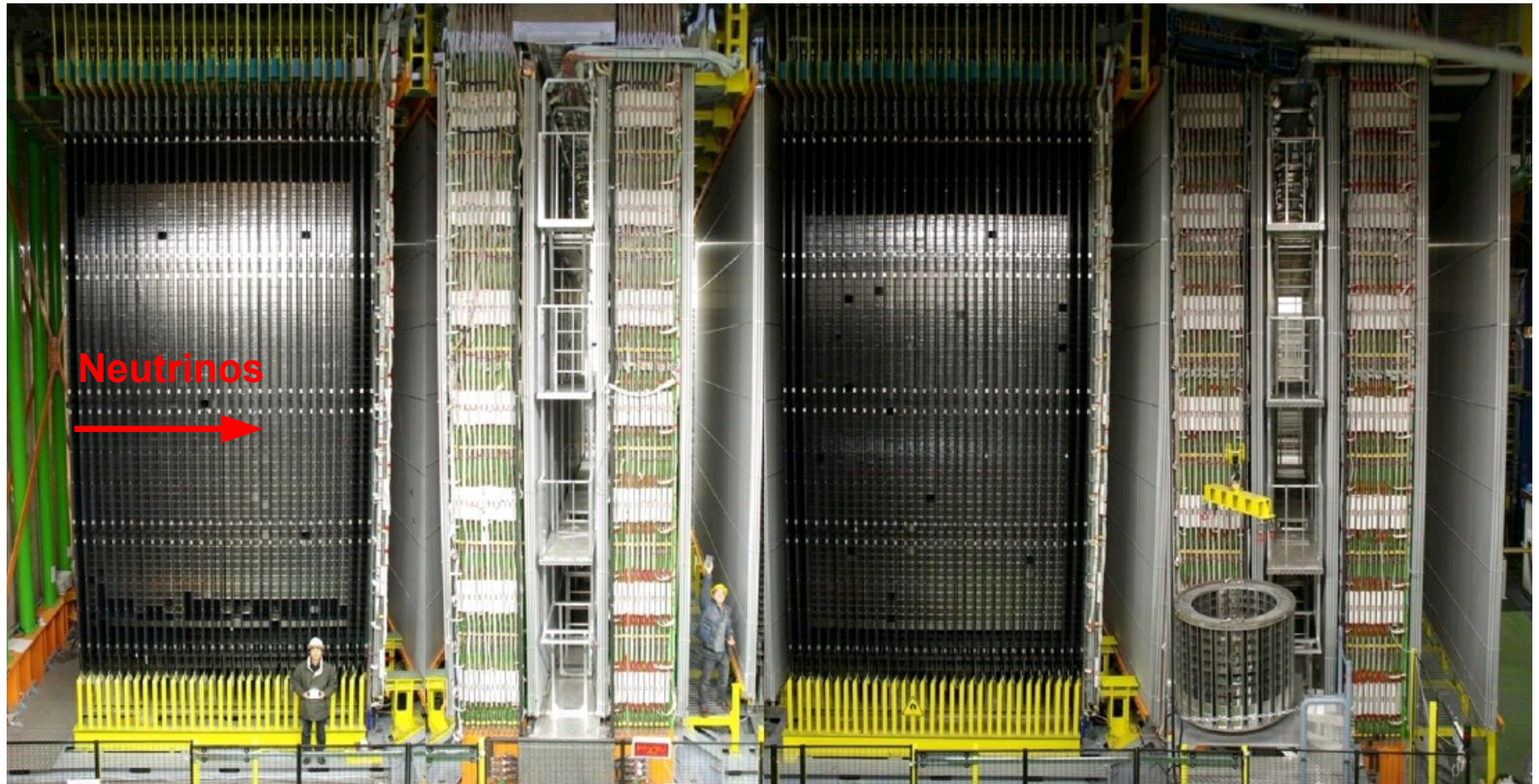
- Ladungsbestimmung und Impulsbestimmung:
 - Wichtig für die Hauptanalyse von OPERA (τ appearance)
 - Kleine Fehlidentifikation sehr wichtig

 - Weitere physikalische Anwendungen:
 - Ladungsverhältnis atmosphärischer Myonen
 - Geschwindigkeit von Neutrinos
 - Unterschiede bei Neutrinos und Anti-Neutrinos?
 - Atmosphärische Neutrinos
 - CPT Invarianz?
- Zuverlässige Ladungsbestimmung
 + Maß für Güte wünschenswert

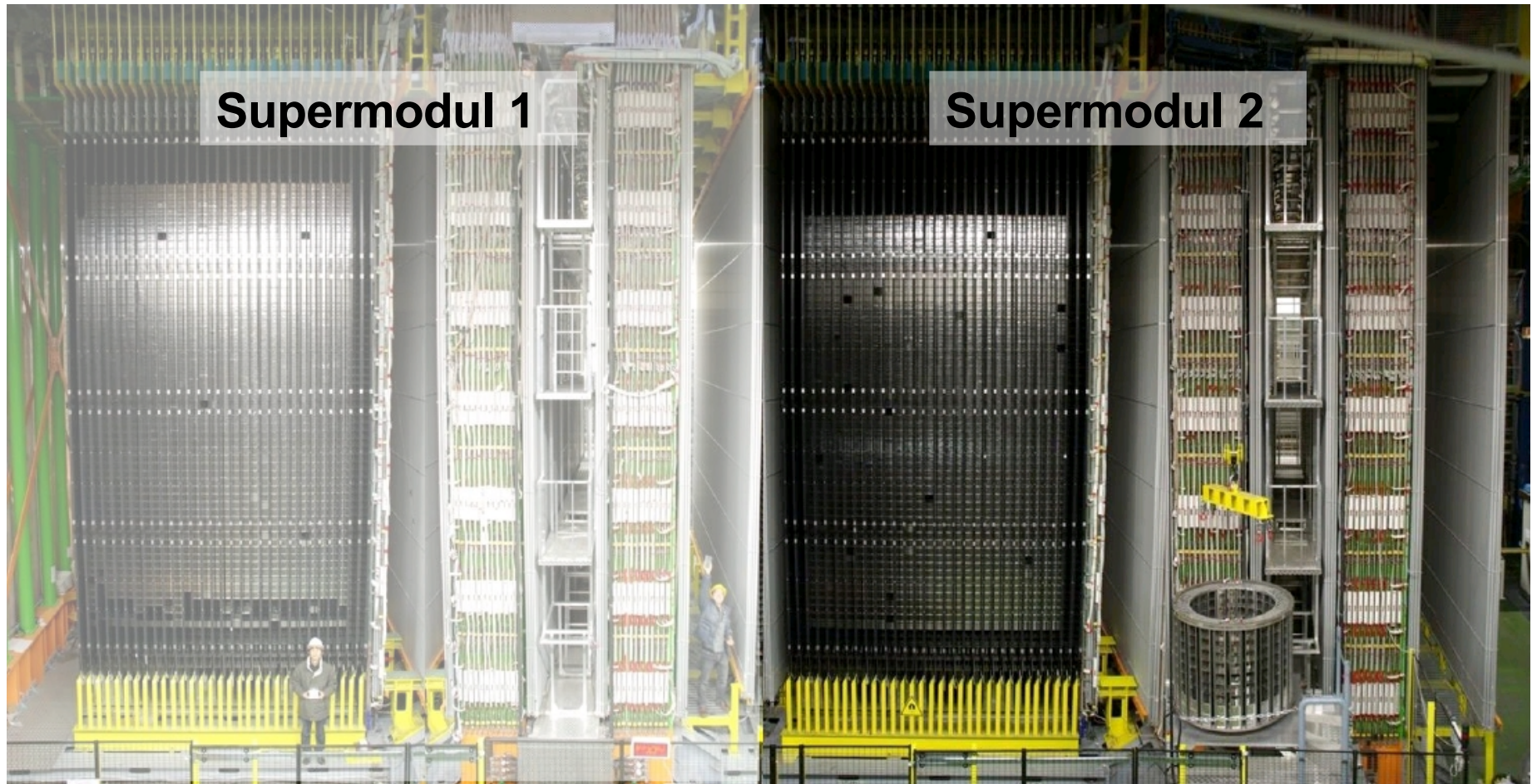


Eur.Phys.J. C67 (2010) 25-37

Der OPERA Detektor



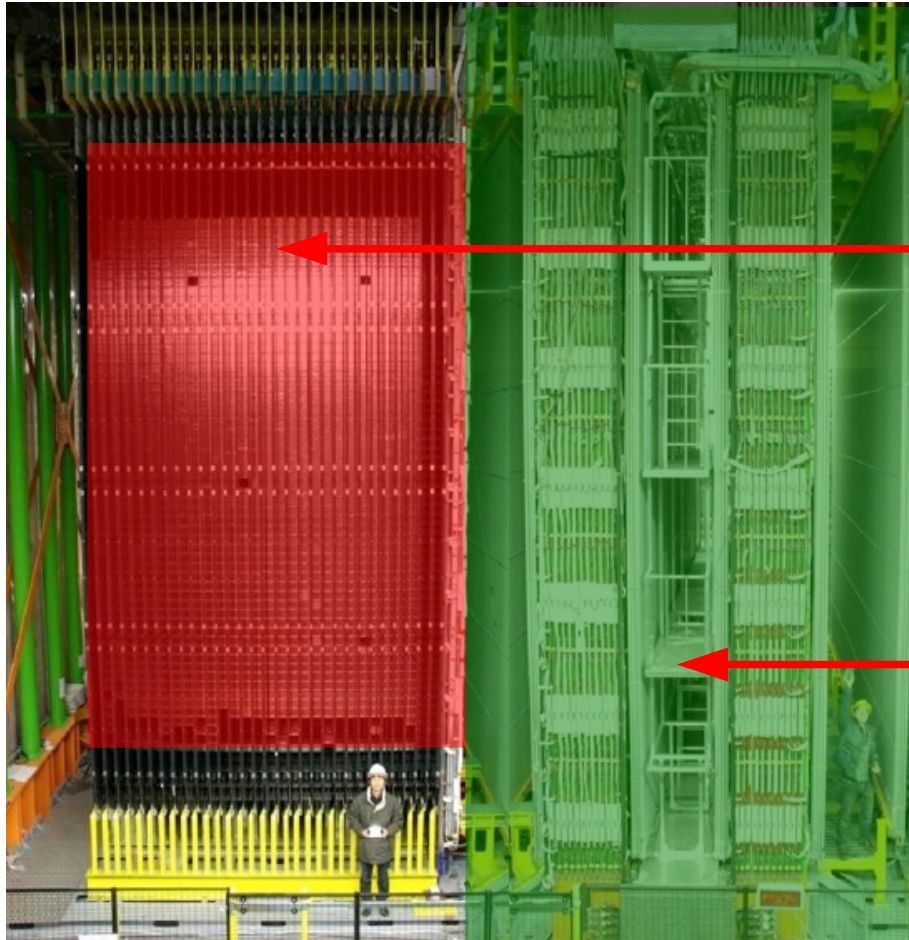
Der OPERA Detektor



Supermodul 1

Supermodul 2

Der OPERA Detektor

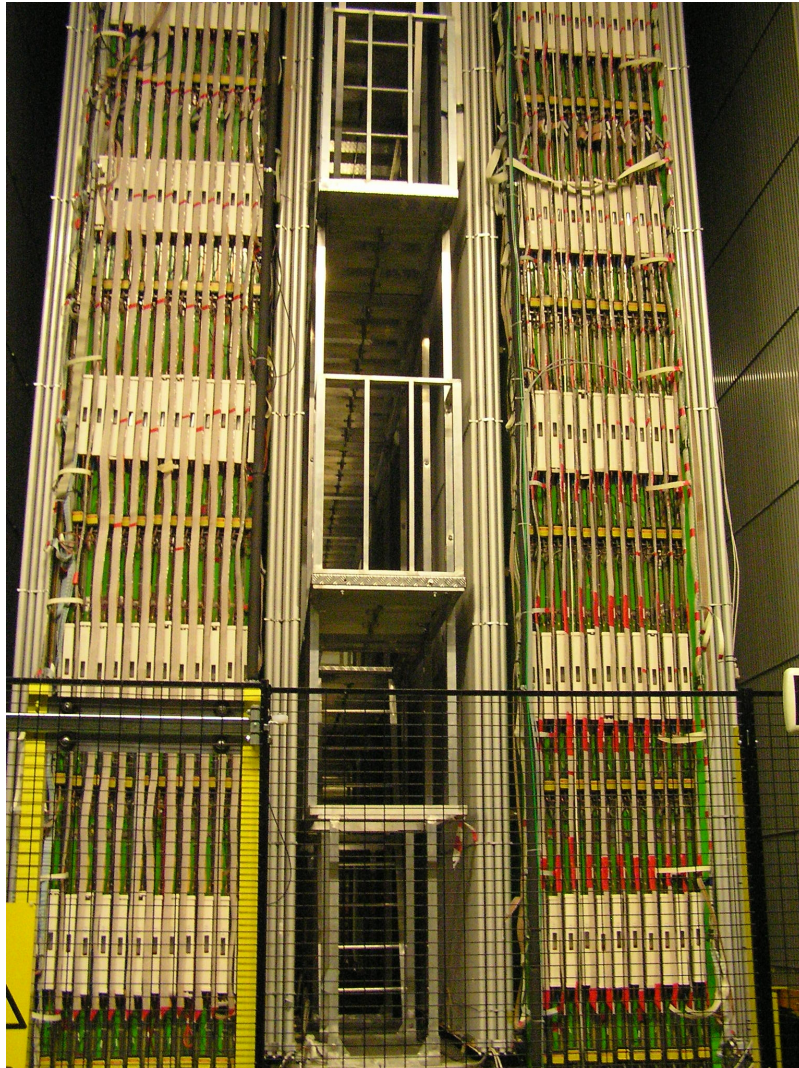


Ziel-Bereich:

- ~75.000 ECC-Ziegel

Spektrometer:

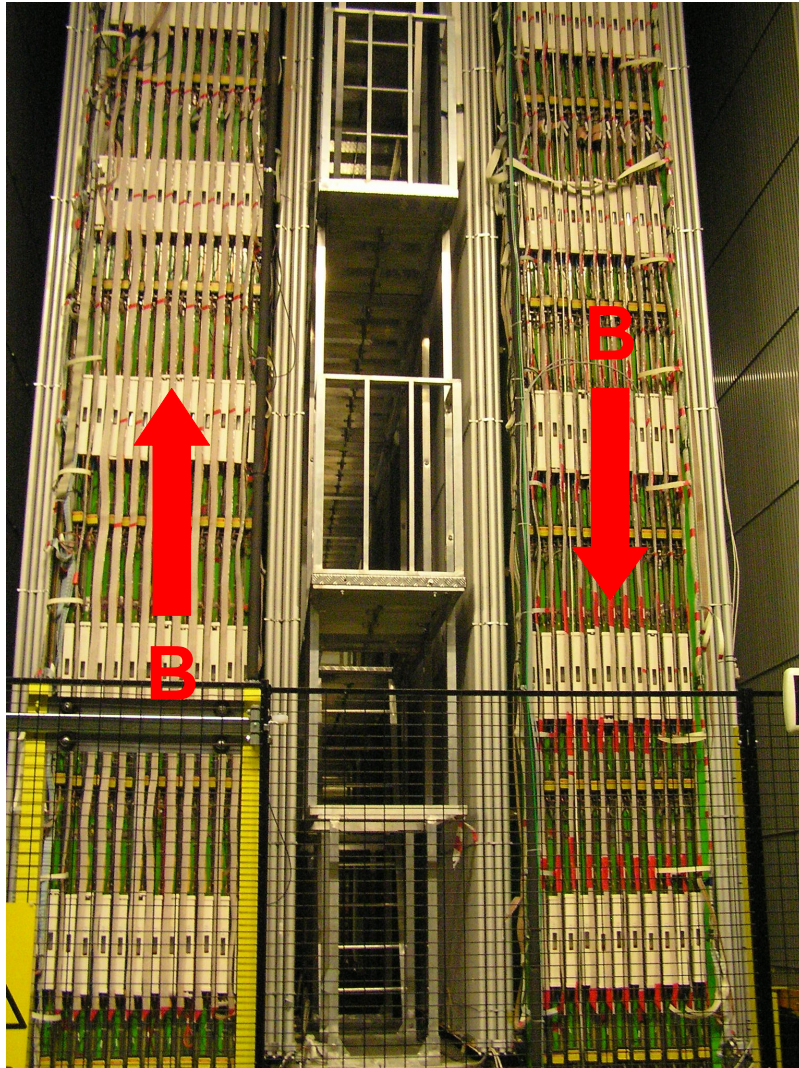
- 1,5 T Dipolmagnet
- Driftröhren
- Resistive plate chambers (RPC)



Das OPERA Spektrometer

Kurz-Info:

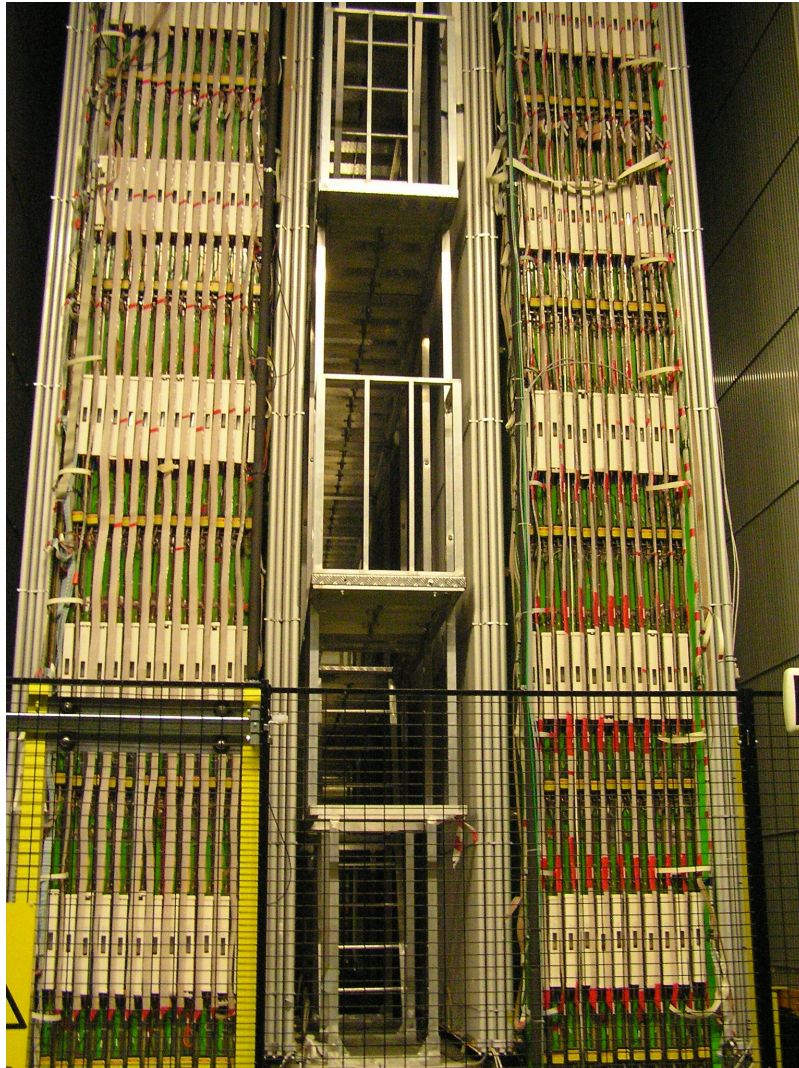
- 1,5 T Dipolmagnet
- 9.504 Driftröhren
- RPC zum Triggern
- Aufgeteilt auf sechs Wände pro Supermodul
- Aufgabe: Ladungs- und Impulsbestimmung



Das OPERA Spektrometer

Kurz-Info:

- 1,5 T Dipolmagnet
- 9.504 Driftröhren
- RPC zum Triggern
- Aufgeteilt auf sechs Wände pro Supermodul
- Aufgabe: Ladungs- und Impulsbestimmung



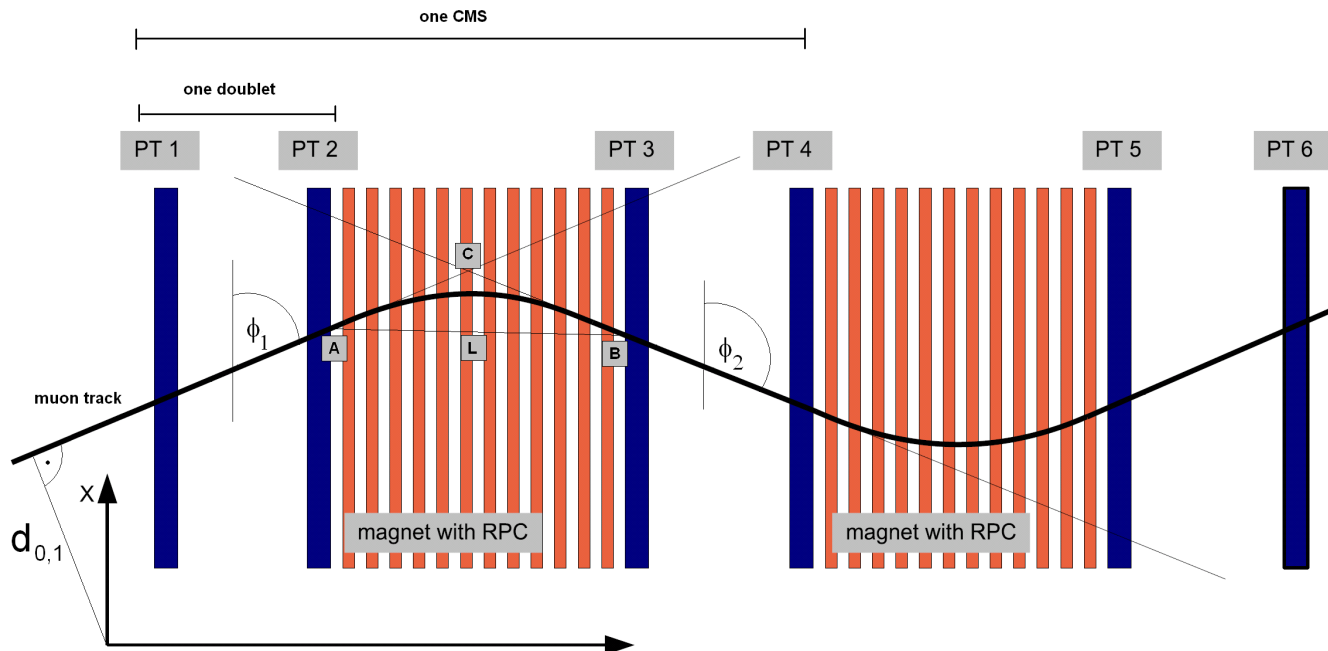
Das OPERA Spektrometer

Kurz-Info:

- 1,5 T Dipolmagnet
- 9.504 Driftröhren
- RPC zum Triggern
- Aufgeteilt auf sechs Wände pro Supermodul
- Aufgabe: Ladungs- und Impulsbestimmung

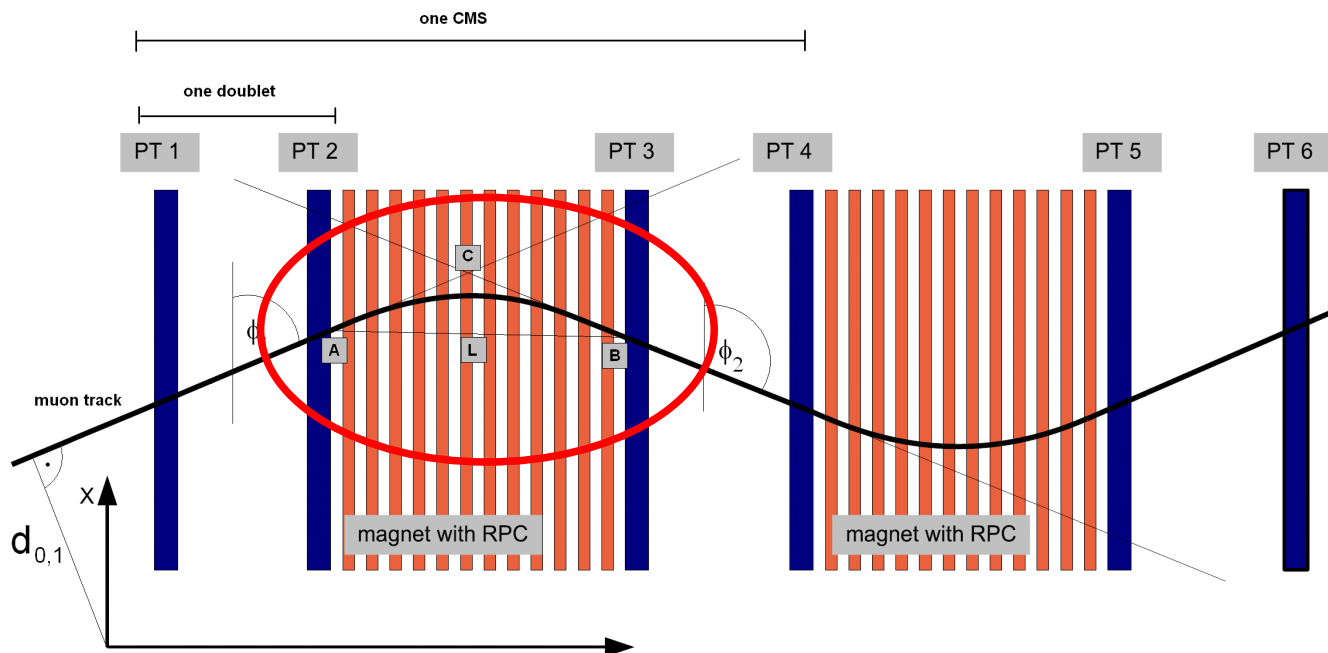
Das OPERA Spektrometer

- Myonspur wird vollständig beschrieben durch den Winkel φ und den Abstand d_0 (Hesse-Normalform)
- Ladung: $\delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 / |\varphi_2 - \varphi_1| \cdot P_1$
- Impuls $p \sim 1 / \delta\varphi$



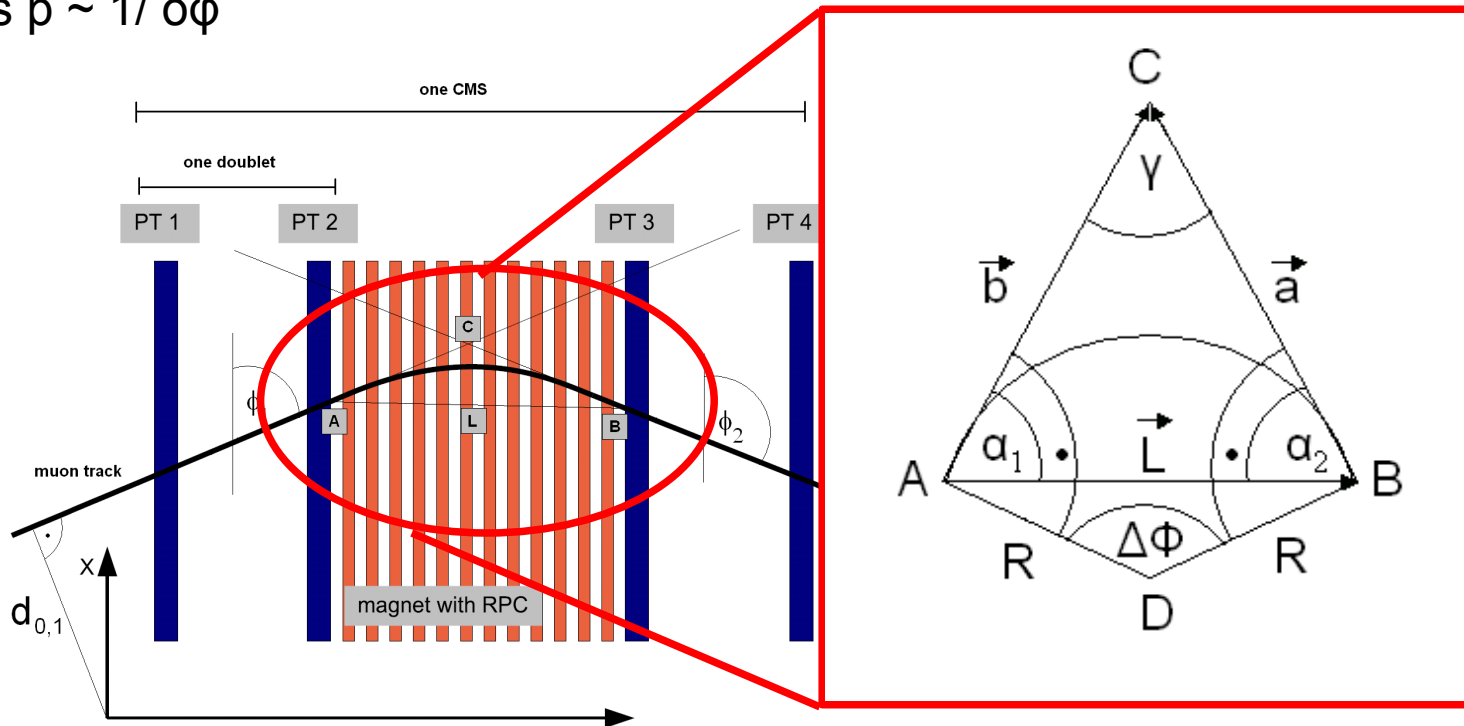
Die Winkelvergleichsmethode

- Myonspur wird vollständig beschrieben durch den Winkel φ und den Abstand d_0 (Hesse-Normalform)
- Ladung: $\delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 / |\varphi_2 - \varphi_1| \cdot P_1$
- Impuls $p \sim 1 / \delta\varphi$



Die Winkelvergleichsmethode

- Myonspur wird vollständig beschrieben durch den Winkel φ und den Abstand d_0 (Hesse-Normalform)
- Ladung: $\delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 / |\varphi_2 - \varphi_1| \cdot P_1$
- Impuls $p \sim 1 / \delta\varphi$

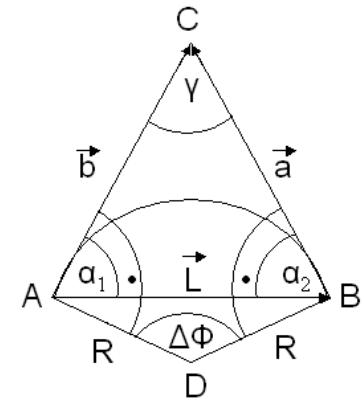


Die Winkelvergleichsmethode

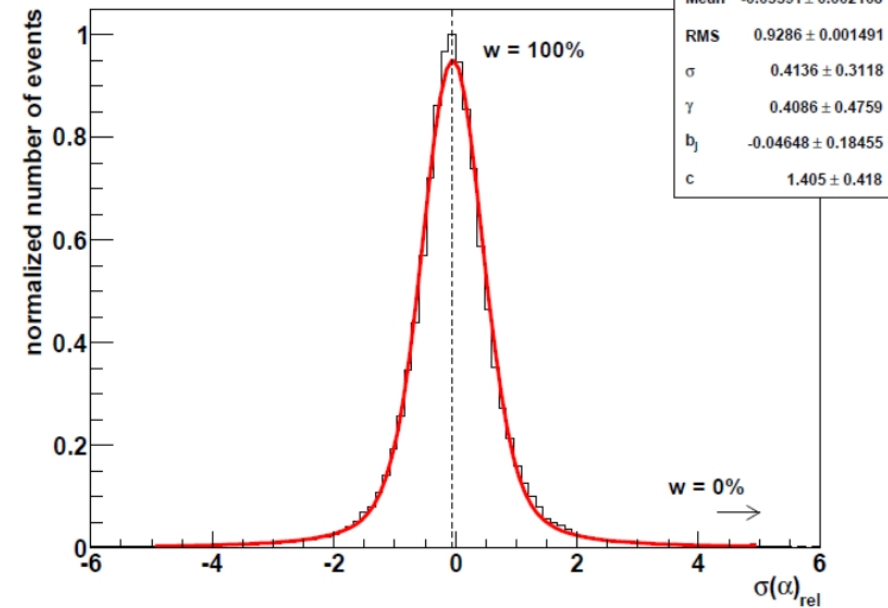
- Einbeziehung des zweiten Parameters d_0
- Die Vektoren a und b sind Tangenten des gleichen Kreises: $\alpha_1 = \alpha_2$
- Verwendung der relativen Abweichung:

$$\sigma(\alpha)_{\text{rel}} = 2(\alpha_1 - \alpha_2) / (\alpha_1 + \alpha_2)$$

- Jede Messung (max. 4 möglich) bekommt ein Gewicht:
 - Maximales Gewicht beim Erwartungswert: $w=1$
 - An den Rändern: $w \rightarrow 0$



Charge Weight Principle



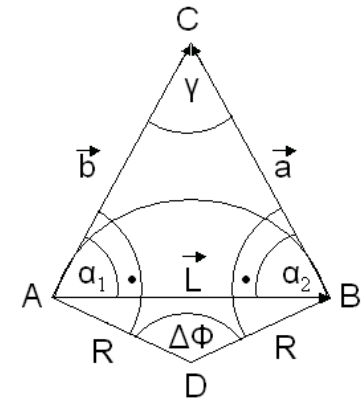
Die Winkelvergleichsmethode

- Einbeziehung des zweiten Parameters d_0
- Die Vektoren a und b sind Tangenten des gleichen Kreises: $\alpha_1 = \alpha_2$
- Verwendung der relativen Abweichung:

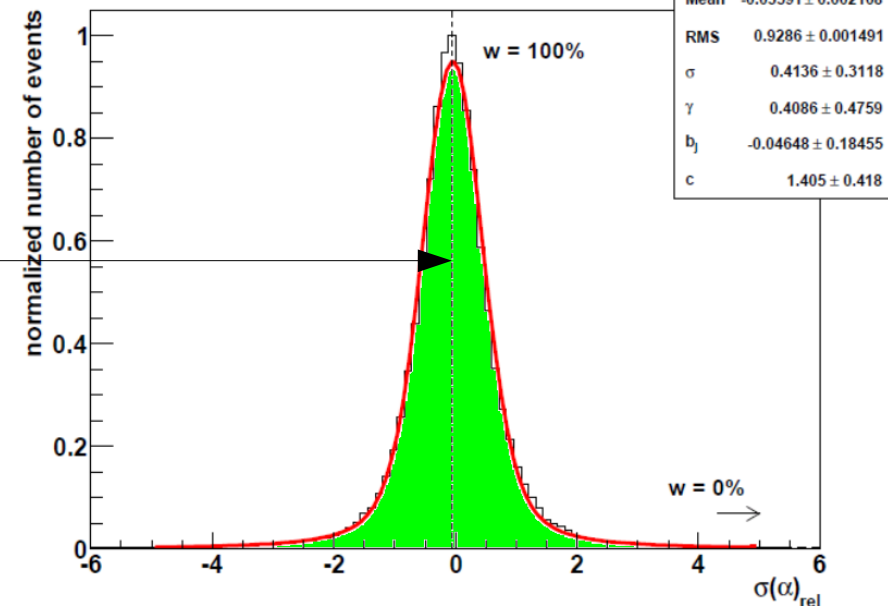
$$\sigma(\alpha)_{\text{rel}} = 2(\alpha_1 - \alpha_2) / (\alpha_1 + \alpha_2)$$

- Jede Messung (max. 4 möglich) bekommt ein Gewicht:

- Maximales Gewicht beim Erwartungswert: $w=1$
- An den Rändern: $w \rightarrow 0$



Charge Weight Principle

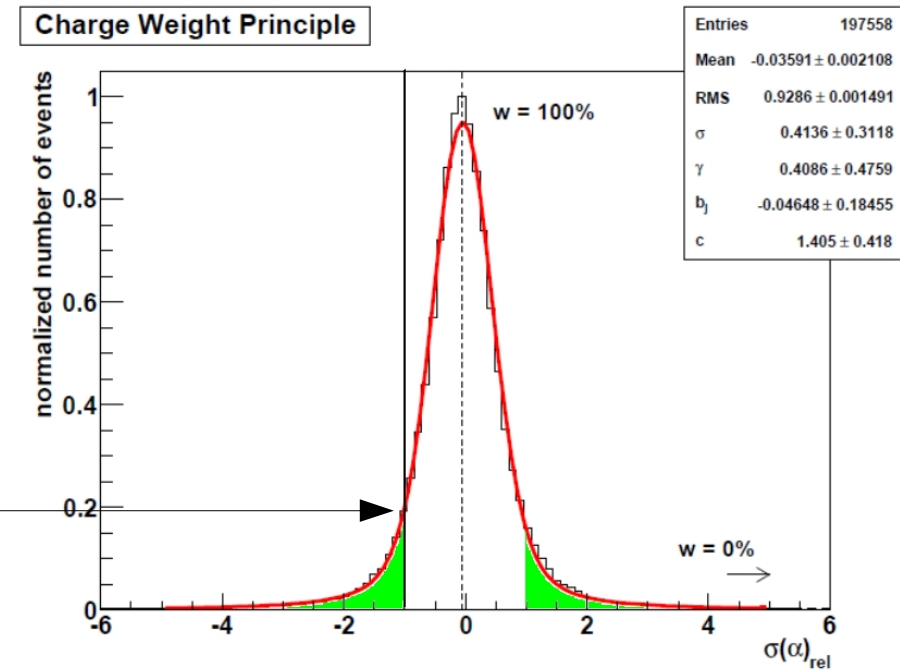
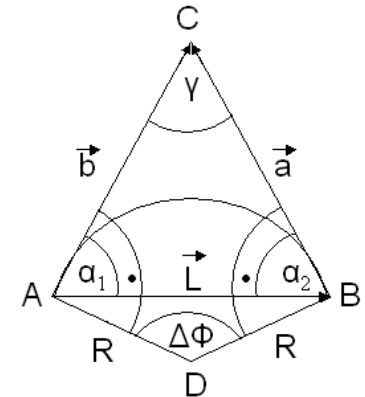


Die Winkelvergleichsmethode

- Einbeziehung des zweiten Parameters d_0
- Die Vektoren a und b sind Tangenten des gleichen Kreises: $\alpha_1 = \alpha_2$
- Verwendung der relativen Abweichung:

$$\sigma(\alpha)_{\text{rel}} = 2(\alpha_1 - \alpha_2) / (\alpha_1 + \alpha_2)$$

- Jede Messung (max. 4 möglich) bekommt ein Gewicht:
 - Maximales Gewicht beim Erwartungswert: $w=1$
 - An den Rändern: $w \rightarrow 0$

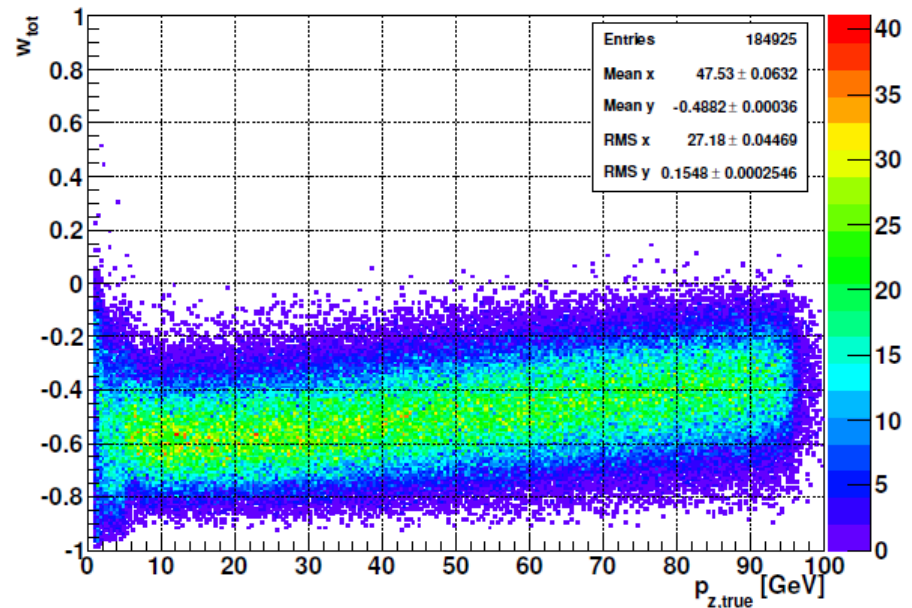


Ladungsbestimmung

- Beispiel: Monte Carlo nur mit μ^-
- OPERA verfügt über vier Stationen zur Ladungsbestimmung
→ max. vier Messungen mit Gewicht * Ladung
- Mittelwertbildung aller möglichen Ladungsbestimmungen:

$$w_{tot} = \sum_{i=1}^n w_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \cdot w_i$$

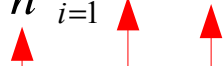
Charge Weight (PT) depending on Momentum



Ladungsbestimmung

- Beispiel: Monte Carlo nur mit μ^-
- OPERA verfügt über vier Stationen zur Ladungsbestimmung
→ max. vier Messungen mit Gewicht * Ladung
- Mittelwertbildung aller möglichen Ladungsbestimmungen:

$$w_{tot} = \sum_{i=1}^n w_i' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \cdot w_i$$



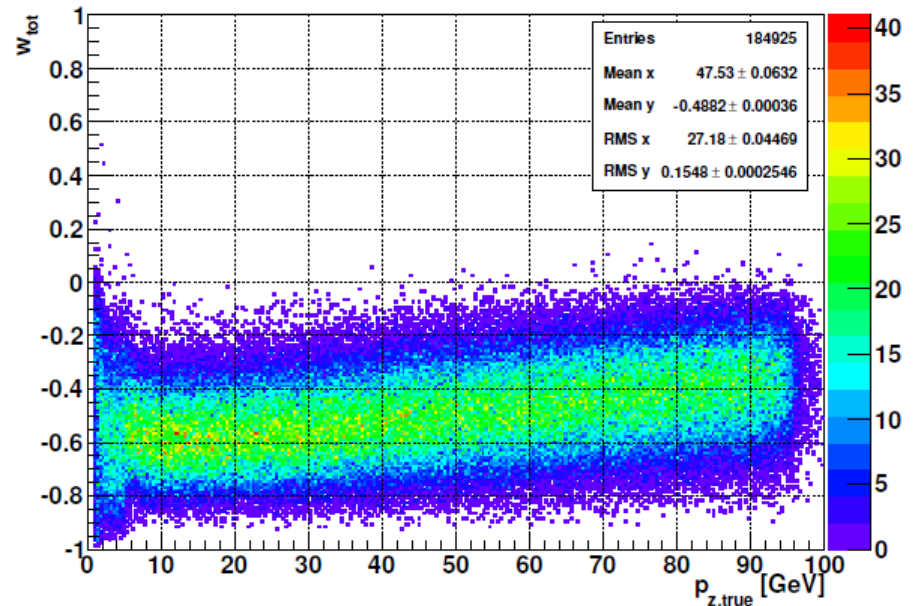
Gewicht: $w = 1 - \int_a^b \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right) \otimes \frac{1}{2\pi} \frac{\gamma}{(x-\mu)^2 + \frac{1}{4}\gamma^2} dx$

Ladung: $c_i = \frac{\phi_{j+1} - \phi_j}{|\phi_{j+1} - \phi_j|} \cdot P_i$

Anzahl der Messungen

P_i : Polarität und Flugrichtung
 ϕ_{j+1} : Winkel nach dem Magnetarm
 ϕ_j : Winkel vor dem Magnetarm

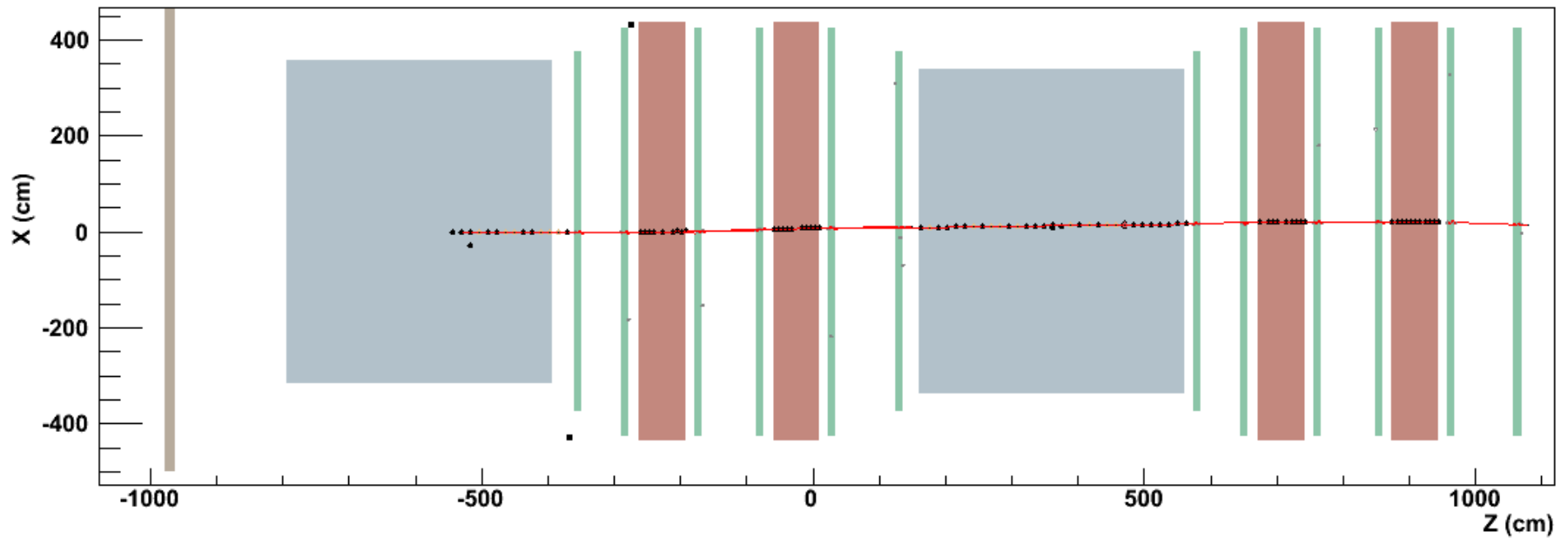
Charge Weight (PT) depending on Momentum



Resultate

- Beispiel (Monte Carlo): μ^-

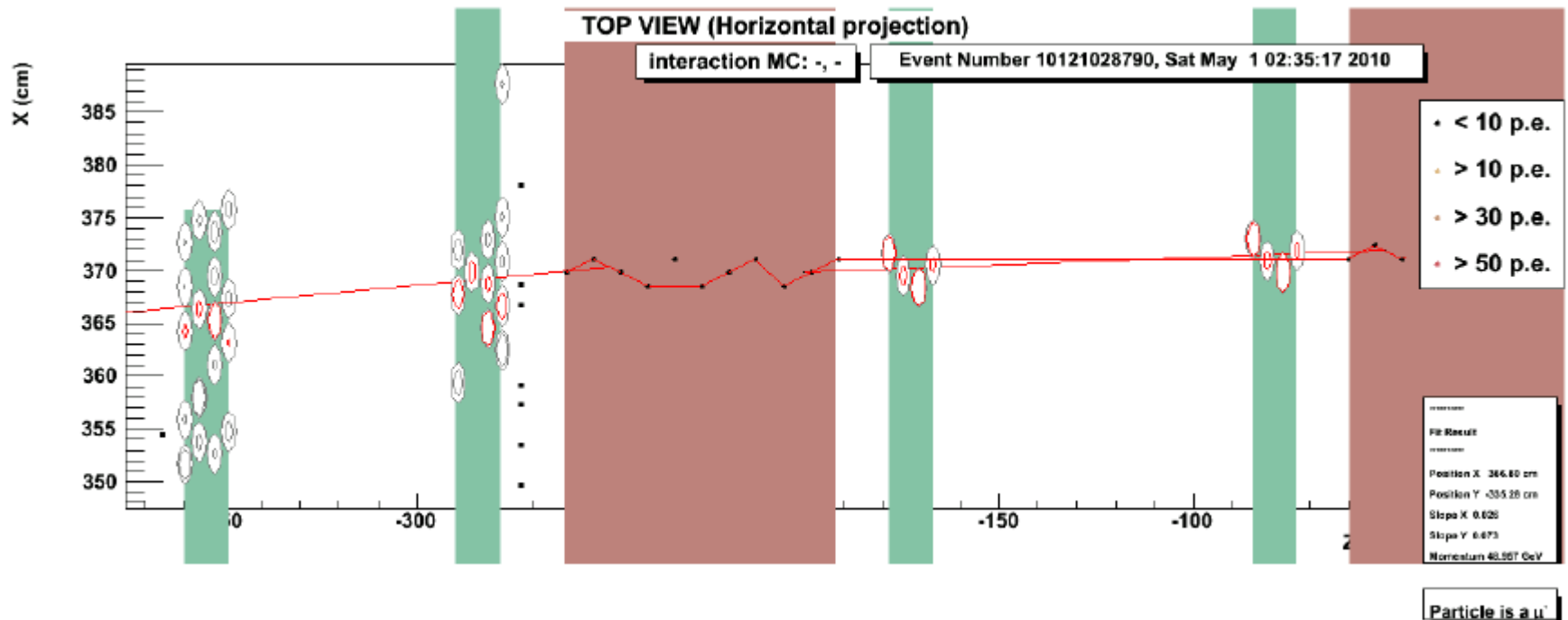
- Gewichte: -0,83 -0,82 +0,04 -0,56



Resultate

- Beispiel (reale Daten): μ^-

- Gewicht: +0,007



Vergleich

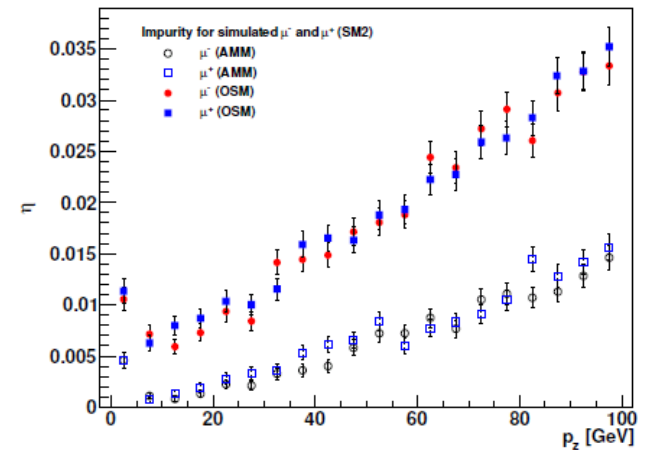
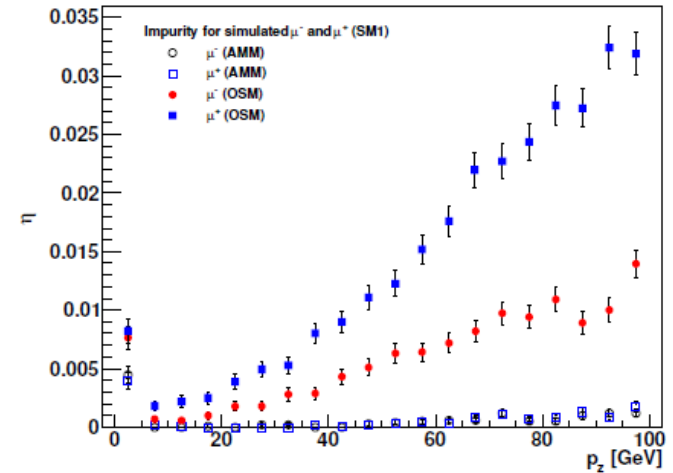
Alte Methode und neue Methode

- Monte Carlo - Daten

- Definition der Verunreinigung: $\eta = \frac{n_w}{n_c}$

Anzahl der Ereignisse mit Ladungsbestimmung

Anzahl der falsch identifizierten Ereignisse



Vergleich

Alte Methode und neue Methode

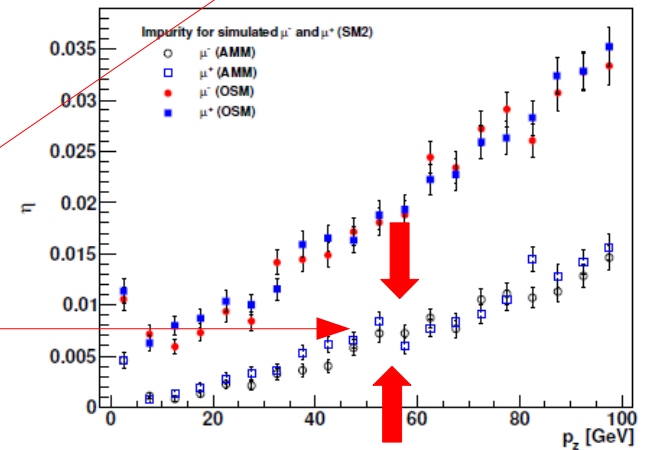
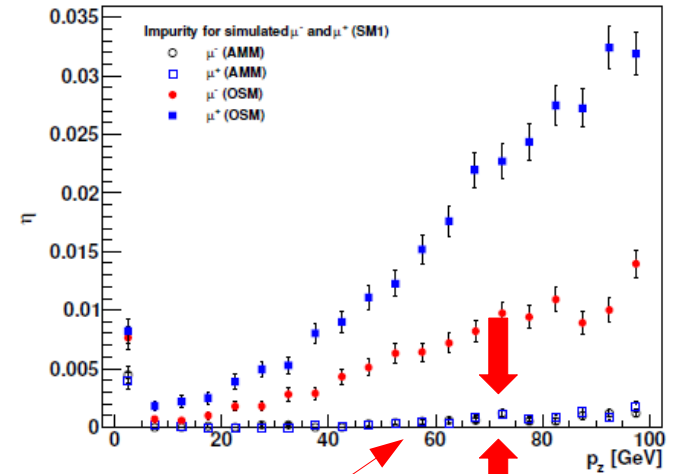
- Monte Carlo - Daten

- Definition der Verunreinigung: $\eta = \frac{n_w}{n_c}$

Anzahl der Ereignisse mit Ladungsbestimmung

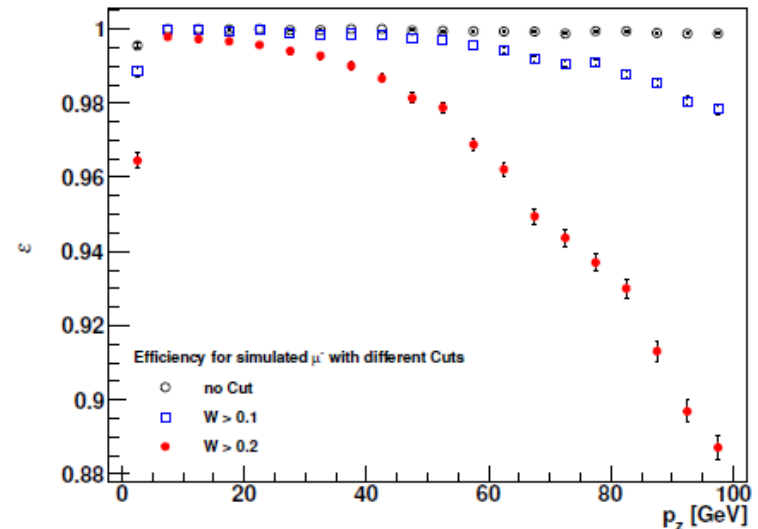
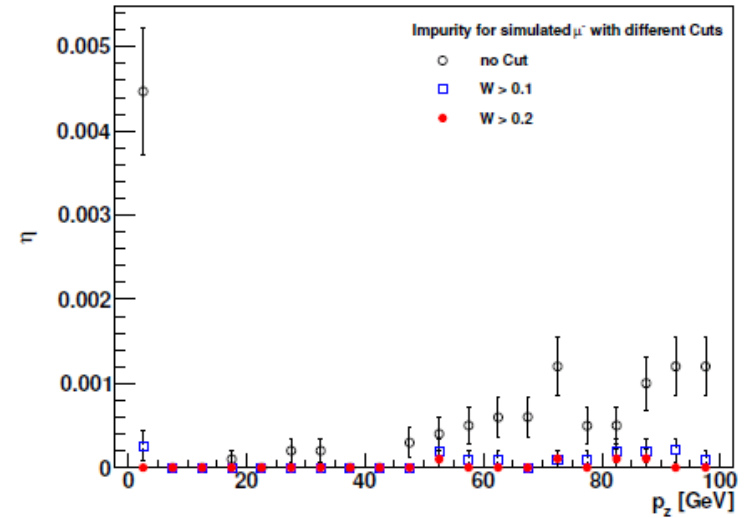
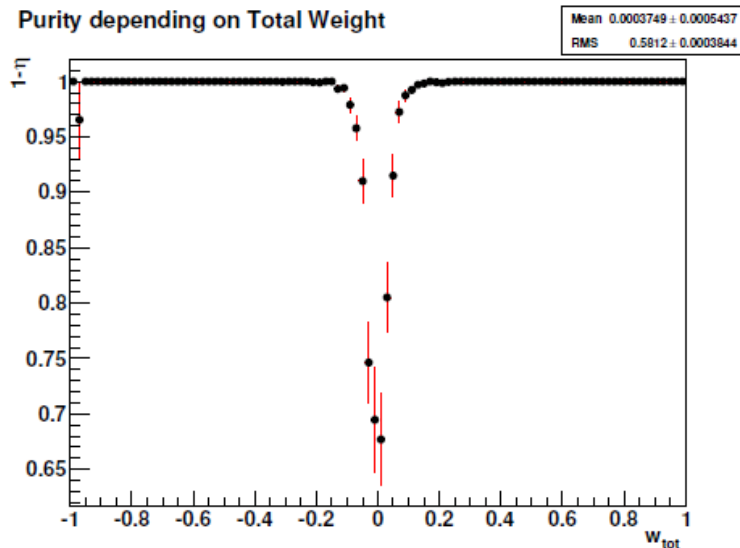
Anzahl der falsch identifizierten Ereignisse

neue Methode



Ladungsrekonstruktion

- Problematisch rekonstruierte Ereignisse
→ Geringes Gewicht



Fazit der Methode:

- Winkelvergleich erlaubt Rückschlüsse auf Spurinkonsistenzen
- Gewicht erlaubt die Beurteilung der Güte der Ladungsbestimmung
- Im Vergleich zur bisherigen Methode -> drastische Reduzierung der Falsch-Bestimmung
- Weitere Anwendungen und Resultate:

T 72.8: Resultate der Winkelvergleichsmethode am OPERA-Spektrometer
Vortrag von B. Büttner

- Untersuchung des Alignments bei eingeschaltetem Magnetfeld



Per Definition:

- Maximales Gewicht beim Erwartungswert der Verteilung: $w=1$
- An den Rändern: $w \rightarrow 0$
- Berechnung des Gewichtes (Faltung einer Gauß- und Lorentzverteilung):

$$w = 1 - \int_a^b \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right) \otimes \frac{1}{2\pi} \frac{\gamma}{(x-\mu)^2 + \frac{1}{4}\gamma^2} dx$$

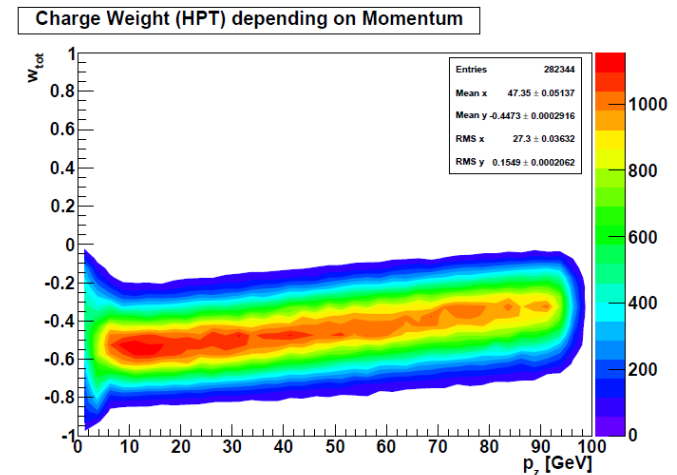
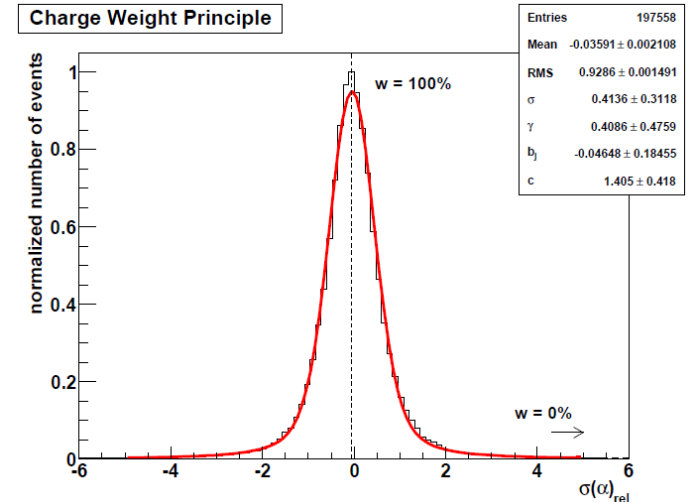
- Gemessene relative Abweichung:

$$b_i = 2 \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

- Integrationsgrenzen:

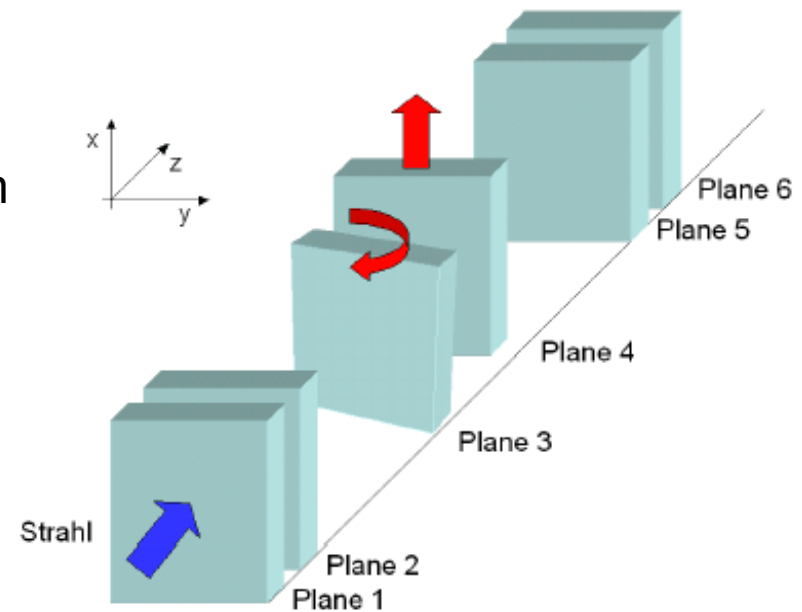
$$b = \mu + |b_i - \mu|$$

$$a = \mu - |b_i - \mu|$$



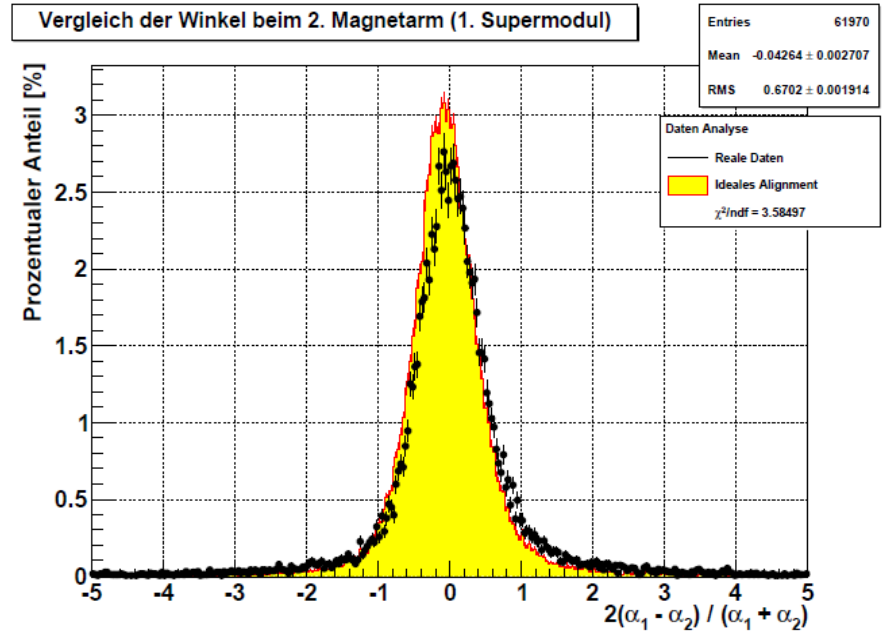
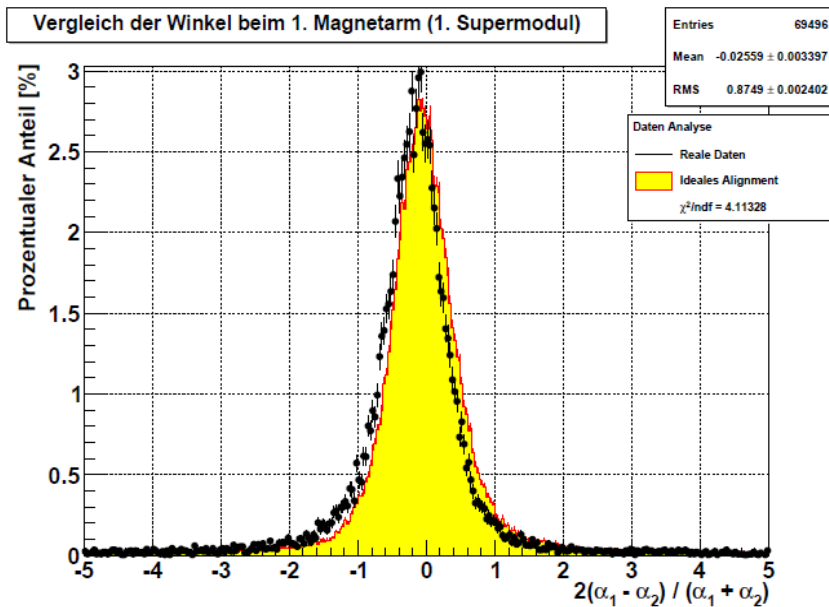
Untersuchungen des Alignments:

- Alignment = Präzise Messung der Position von den Driftröhrenwänden
- Wichtig für Impuls- und Ladungsanalyse
- Bisherige Prozeduren: Messung mit Theodolit und Analysen bei ausgeschaltetem Magnetfeld
- Problem: Wenig Statistik und mögliche Verformung des Detektors bei eingeschaltetem Magnetfeld (Temperaturschwankung)
- Vorteil der Winkelvergleichsmethode: Alignmentkorrektur bei eingeschaltetem Magnetfeld mit viel Statistik



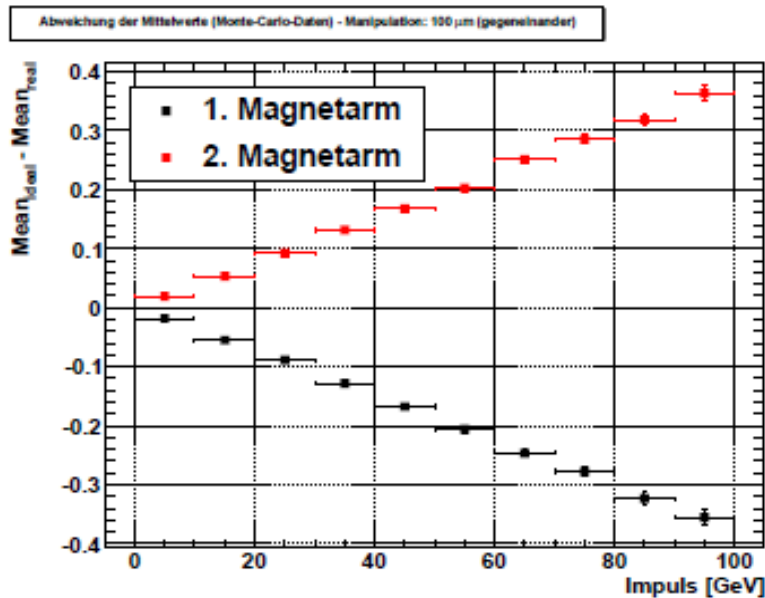
Untersuchungen des Alignments

- Vergleich: Monte Carlo und reale Daten:

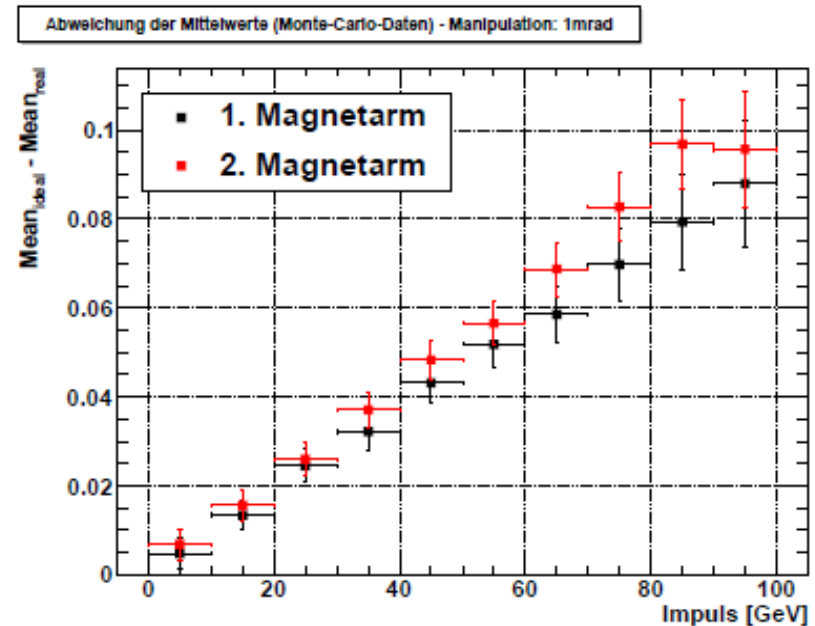


Untersuchungen des Alignments

- Vergleich: Monte Carlo – Verschiedene Effekte:



(e) 100 μm ($\uparrow\downarrow$)



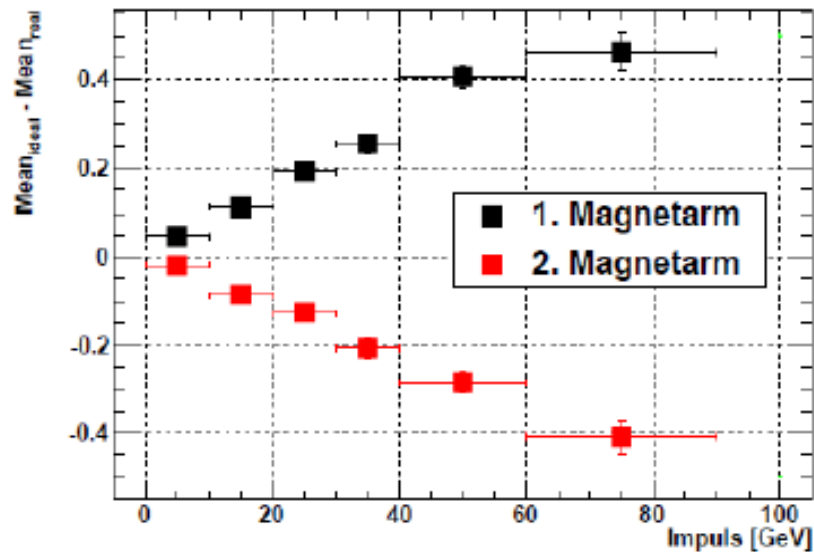
(b) 1 mrad

Untersuchungen des Alignments

- Korrektur mit Unterscheidung zweier Effekte:

Unkorrigiert

Winkelmethode (Supermodul 1)



Korrigiert

Winkelmethode (Supermodul 1)

