

# Einfluss $\chi^2$ -invarianter Moden der CMS-Spurdetektor-Alignierung auf rekonstruierte Spurparameter

DPG-Frühjahrstagung, München, März 2009

Holger Enderle, Gero Flucke, Peter Schleper



Universität Hamburg



GEFÖRDEBT VOM

Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



BMBF - Förderschwerpunkt  
Elementarteilchenphysik

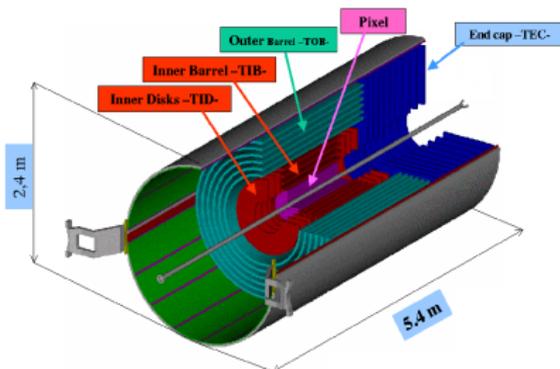
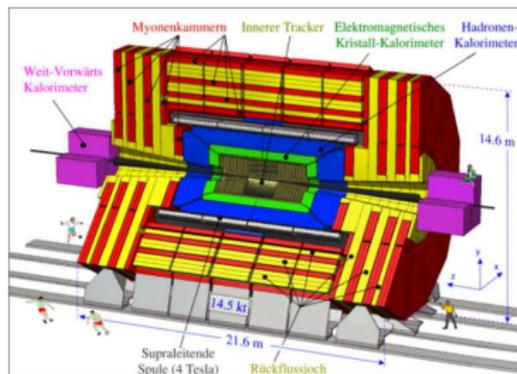
Großgeräte der physikalischen  
Grundlagenforschung

- Einleitung
  - CMS-Detektor
  - spurbasiertes Alignment
  - $\chi^2$ -invariante Moden
- $\frac{E}{p}$  – Studie
  - Motivation
  - $\frac{E}{p}$  – Verteilung
  - Signifikanz
- Zusammenfassung und Ausblick

# Einleitung: CMS-Detektor

## CMS

sehr starkes Magnetfeld (3,8 T)  
Kalorimeter innerhalb der Spule  
(verhindert Energieverlust)  
relativ dünnes Hadronen-Kalorimeter  
(wegen Platzmangel)  
hochauflösendes elektromagnetisches  
Kristall-Kalorimeter



## Spurdetektor

Größter Silizium-Spurdetektor weltweit  
(15148 Streifen- und 1440 Pixelmodule)  
Montagegenauigkeit:  $\sim 10 - 1000 \mu\text{m}$   
Messgenauigkeit:  $9 - 60 \mu\text{m}$   
Alignment auf  $\sim 10 \mu\text{m}$  erwünscht

Einfluss  
 $\chi^2$ -invarianter  
Moden

Holger Enderle

Einleitung

$E/P$  — Studie

Motivation

Theorie

$E$  — Verteilung

Pionen

Signifikanz

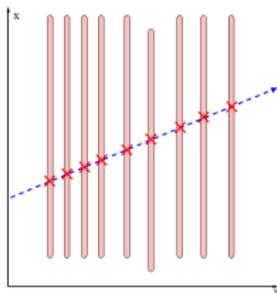
Ausblick

Backup

# Einleitung: spurbasiertes Alignment

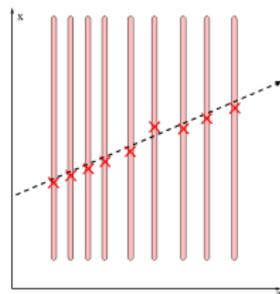
## Spur durch Detektor

- ein Modul verschoben



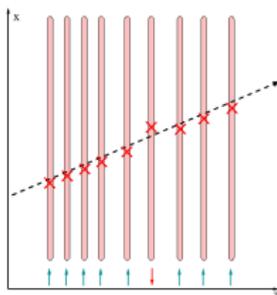
## Spurrekonstruktion vor Alignment:

- benutzt Design-Geometrie



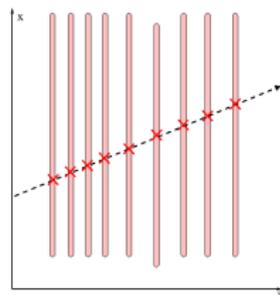
## Alignment minimiert Residuen ( $\chi^2$ -Min):

- bestimmt wahre Geometrie



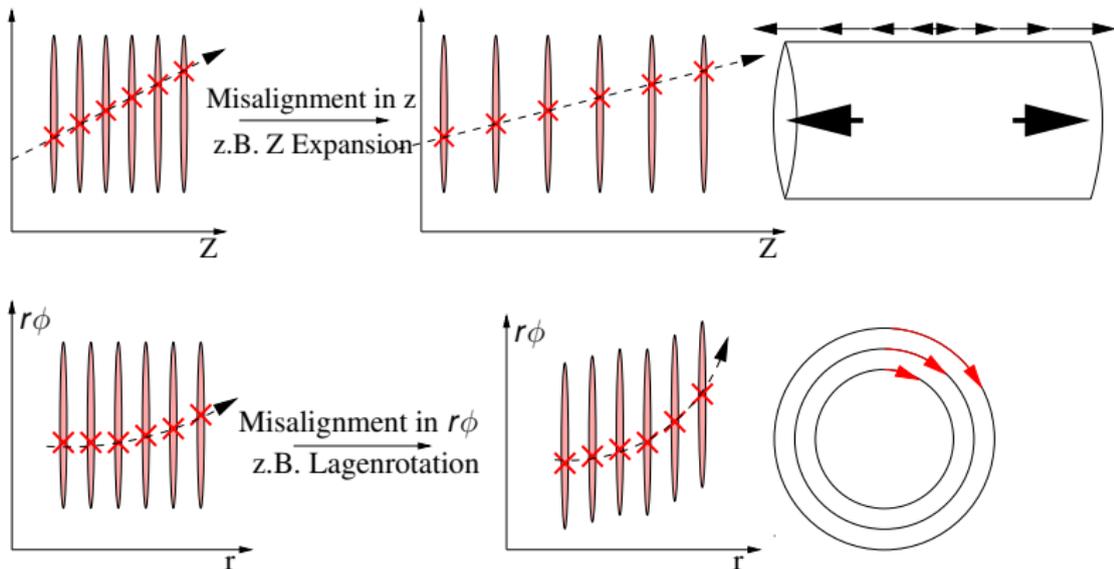
## Spurrekonstruktion nach Alignment:

- benutzt bestimmte (wahre) Geom.



# Einleitung: $\chi^2$ -invariante Moden

## Systematische Verformungen des Detektors



- $k(l)$  Residuen
- ▶  $\chi^2$ -invariant

Einfluss  
 $\chi^2$ -invarianter  
Moden

Holger Enderle

Einleitung

$\frac{E}{p}$  — Studie

Motivation

Theorie

$\frac{E}{p}$  — Verteilung

Pionen

Signifikanz

Ausblick

Backup

# Motivation

Einfluss  
 $\chi^2$ -invarianter  
Moden

Holger Enderle

Einleitung

$\frac{E}{p}$  — Studie

Motivation

Theorie

$\frac{E}{p}$  — Verteilung

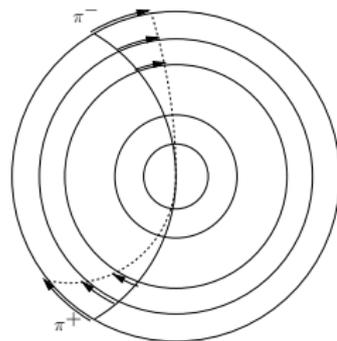
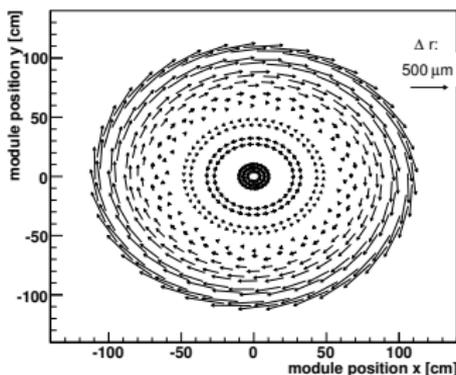
Pionen

Signifikanz

Ausblick

Backup

- Einige  $\chi^2$ -invariante Moden beeinflussen den Spurimpuls
- Ziel dieser Studie:
  - diese Moden mit Hilfe von Spurparametern erkennen
- Start mit der einfachsten Mode:
  - systematische Lagen Rotation  $\Delta s \sim r^2$  (hier:  $\Delta s \sim r^2 - \frac{r_{\max}^2}{2}$ )



- ▶ Die Impulse von positiven und negativen Spuren werden in entgegengesetzte Richtungen beeinflusst.

# Theoretische Berechnung

## Einfluss von Misalignment auf Transversalimpuls von Spuren:

- Krümmungsradius:

$$R[\text{m}] = \frac{p_T[\text{GeV}]}{0,3 \cdot |q|[\text{e}] \cdot |\vec{B}|[\text{T}]} \xrightarrow{B=3,8\text{T}} R[\text{m}] = \frac{p_T[\text{GeV}]}{1,14}$$

- Verschiebung vom Auftreffpunkt auf Detektoroberfläche:

$$s = r \cdot \arcsin\left(\left|\frac{r}{2 \cdot R}\right|\right)$$



- Impuls positiv und negativ geladener Spuren mit Misalignment:

$$p_T^\pm [\text{GeV}] = \frac{0,57 \cdot r[\text{m}]}{|\sin(\frac{s \mp \Delta s}{r})|}$$

# Asymmetrie $p^+ \leftrightarrow p^-$

Einfluss  
 $\chi^2$ -invarianter  
Moden

Holger Enderle

Einleitung

$\frac{E}{p}$  — Studie

Motivation

Theorie

$\frac{E}{p}$  — Verteilung

Pionen

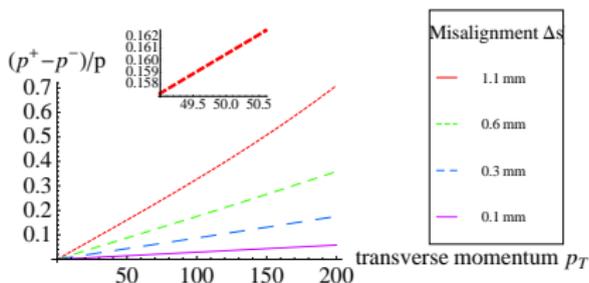
Signifikanz

Ausblick

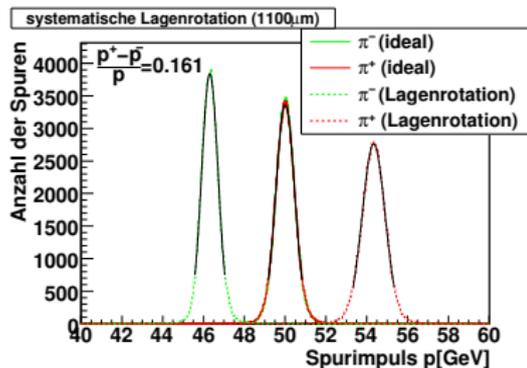
Backup

Rechnung:

$$\text{Asymmetrie } \frac{p^+ - p^-}{p} (p_T)$$



Simulation ( $p_T^{\text{gen}} = 50 \text{ GeV}$ ):



► Berechnung und Simulation mit Lagenrotation sind konsistent

# Kalorimeterenergie als Referenz

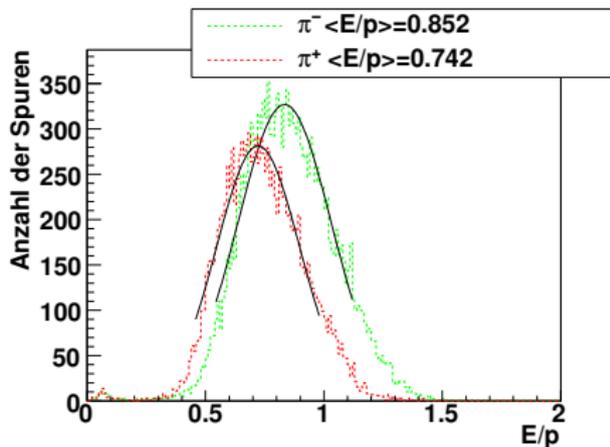
In Daten:

- Impulsspektrum
- keine Information über wahren Impuls
- ▶ Vom Spurdetektor unabhängige Referenz benötigt

Kalorimeter liefert unabhängige Energiemessung  $\longrightarrow \frac{E_{Kal}}{p_{Spur}}$

Benutztes MC:  $10 \text{ GeV} \leq p^{\text{gen}} \leq 50 \text{ GeV}$

Schnitt:  $38 \text{ GeV} \leq p^{\text{rek}} \leq 42 \text{ GeV}, \sin(\theta) > 0.95$



Einfluss  
 $\chi^2$ -invarianter  
Moden

Holger Enderle

Einleitung

$\frac{E}{p}$  — Studie

Motivation

Theorie

$\frac{E}{p}$  — Verteilung

Pionen

Signifikanz

Ausblick

Backup

# Wahl der Teilchenart

Einfluss  
 $\chi^2$ -invarianter  
Moden

Holger Enderle

Einleitung

$\frac{E}{p}$  — Studie

Motivation

Theorie

$\frac{E}{p}$  — Verteilung

Pionen

Signifikanz

Ausblick

Backup

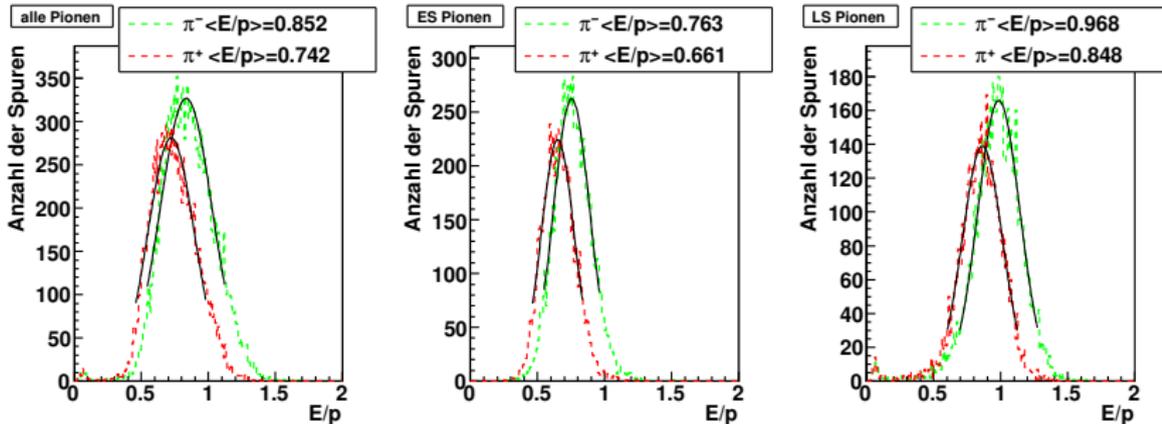
## Anforderung an Teilchen

- gute Spur im Spurdetektor
- gute Messung im Kalorimeter
  - muss nicht absolut kalibriert sein
- ▶ 2 Möglichkeiten:
  - geladene Pionen
    - akzeptable Energiemessung, gute Spuren
  - Elektronen/Positronen
    - sehr gute Energiemessung,  
Bremsstrahlung beeinträchtigt Spurqualität
- ▶ erste Wahl: im Kalorimeter isolierte Pionen

# Vergleich früh-/ spätschauernde Pionen

Es gibt frühschauernde(ES) und spätschauernde(LS) Pionen

- ES-Pionen schauern schon im elektromagn. Kalorimeter (ECAL)
  - LS-Pionen schauern erst im hadronischen Kalorimeter (HCAL)
  - HCAL hat besseres Ansprechverhalten für Pionen als ECAL
- Separation von ES und LS Pionen notwendig



Wann kann man sagen, dass ein Misalignment vorliegt?

- Welche Differenz?
- Wie viele Spuren?

Einfluss  
 $\chi^2$ -invarianter  
Moden

Holger Enderle

Einleitung

$\frac{E}{p}$  — Studie

Motivation

Theorie

$\frac{E}{p}$  — Verteilung

Pionen

Signifikanz

Ausblick

Backup

# Signifikanz

Einfluss  
 $\chi^2$ -invarianter  
Moden

Holger Enderle

Einleitung

$\frac{E}{p}$  – Studie

Motivation

Theorie

$\frac{E}{p}$  – Verteilung

Pionen

Signifikanz

Ausblick

Backup

Maß für die Signifikanz der Differenz:

$$s = \frac{\langle \frac{E}{p^-} \rangle - \langle \frac{E}{p^+} \rangle}{\sqrt{\sigma^2(E/p^-) + \sigma^2(E/p^+)}}$$

Signifikanz ist eine statistische Größe  $\rightarrow s \sim \sqrt{N_{\text{Spuren}}}$

► Signifikanz:  $s = (s_{ES} + s_{LS})/\sqrt{2}$

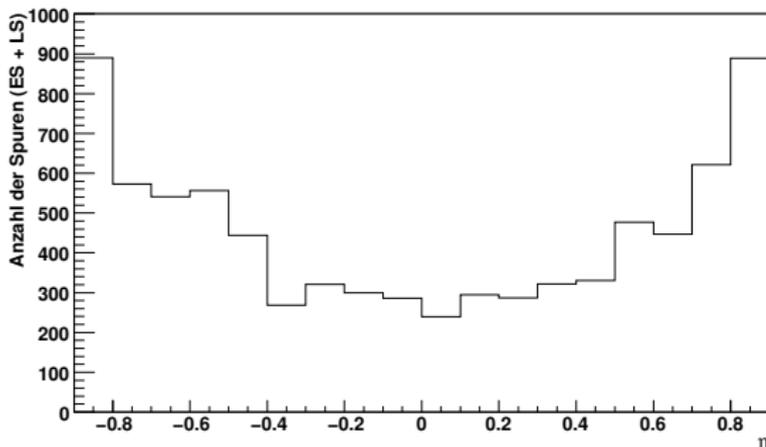
Anzahl von Spuren, für die  $s = 5$  gilt:

$$N(s = 5) = \frac{25}{s^2(N_{\text{tot}})} \cdot N_{\text{tot}}$$

# Benötigte Teilchenzahl

Erweiterung auf den gesamten Barrel-Bereich des Spurdetektors

- Einteilung in  $\eta$ -Intervalle (Pseudorapidität  $\eta = -\ln(\tan(\frac{\theta}{2}))$ )
- Berechnung der benötigten Spuranzahl für jedes Intervall



- ▶ benötigte Anzahl nimmt mit sinkendem Transversalimpuls zu
- ▶ 250-900 Spuren in den verschiedenen  $\eta$ -Intervallen

# Rückrechnung auf Misalignment

Einfluss  
 $\chi^2$ -invarianter  
Moden

Holger Enderle

Einleitung

$\frac{E}{p}$  — Studie

Motivation

Theorie

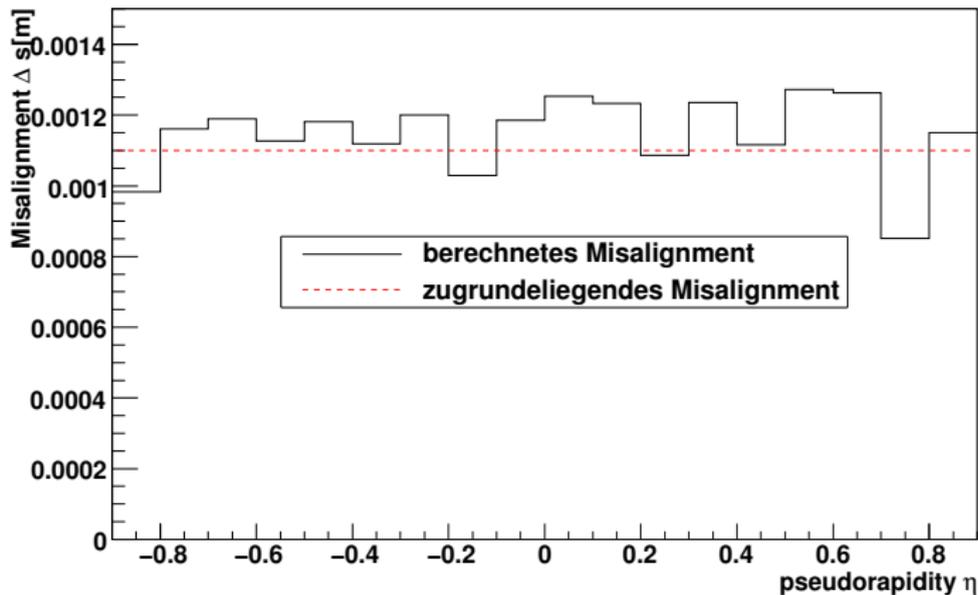
$\frac{E}{p}$  — Verteilung

Pionen

Signifikanz

Ausblick

Backup



► Misalignment kann aus  $\langle \frac{E}{p^-} \rangle - \langle \frac{E}{p^+} \rangle$  berechnet werden

# Zusammenfassung und Ausblick

Einfluss  
 $\chi^2$ -invarianter  
Moden

Holger Enderle

Einleitung

$\frac{E}{p}$  — Studie  
Motivation

Theorie  
 $\frac{E}{p}$  — Verteilung  
Pionen

Signifikanz

Ausblick

Backup

## Zusammenfassung:

- Misalignment beeinflusst Spurimpuls
- $\frac{E}{p}$  zur Bestimmung der Veränderung des Spurimpulses
- von Residuen unabhängige Überprüfung des Alignments
- Rückrechnung auf das Misalignment möglich

## Ausblick:

- Überprüfung anderer Moden
- Erweiterung auf Azimut( $\phi$ )-Abhängigkeit
- Verwendung von Elektronen/Positronen
- Bestimmung geeigneter Isolationskriterien

# Backup

# verschiedene systematische Verformungen

Einfluss  
 $\chi^2$ -invarianter  
 Moden

Holger Enderle

Einleitung

$E$  — Studie

$P$  Motivation

Theorie

$E$  — Verteilung

$P$  Pionen

Signifikanz

Ausblick

Backup

