

# Alignment des CMS-Spurdetektors mit Myonen aus der kosmischen Höhenstrahlung

**Jula Draeger, Gero Flucke und Peter Schleper**  
Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg

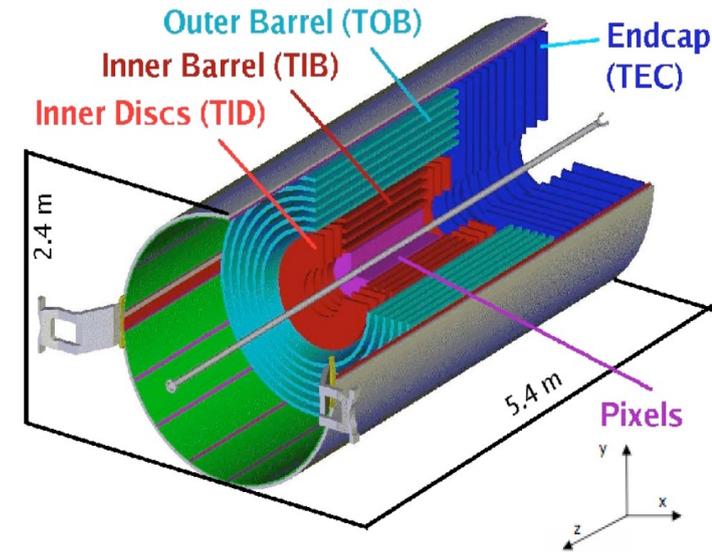
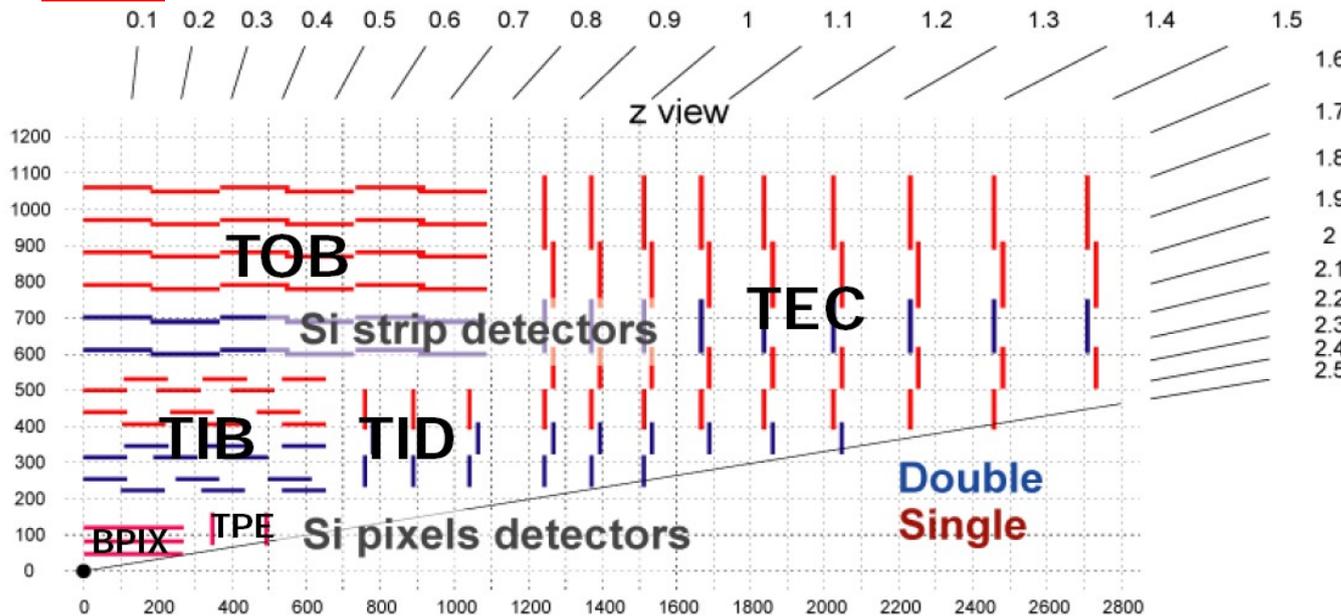
GEFÖRDERT VOM



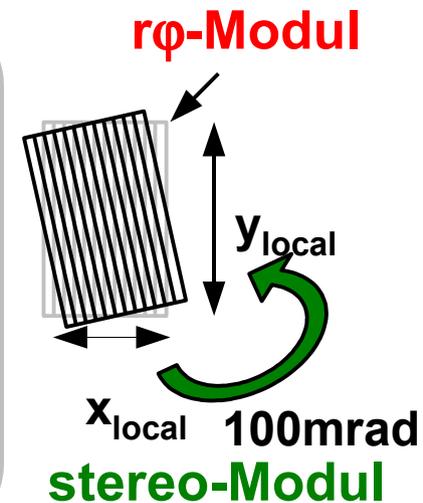
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

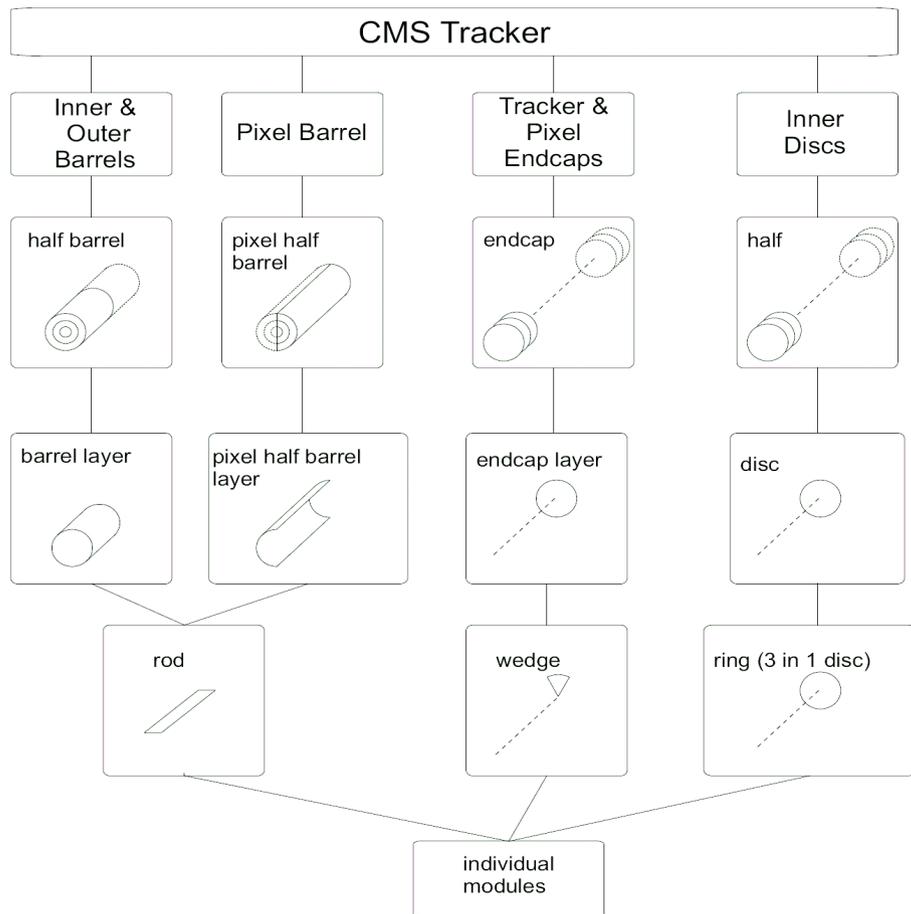


- CMS Siliziumspurdetektor
- Spurbasiertes Alignment mit dem Millepede II Algorithmus
- Sensitivitätsstudien mit Spuren aus simulierten Ereignissen der kosmischen Höhenstrahlung
- Datenbasiertes Alignment des CMS Detektors
- Ausblick und Zusammenfassung



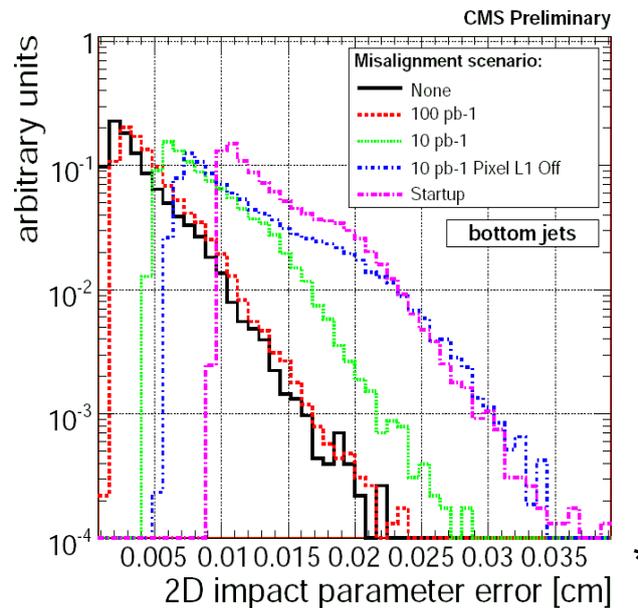
- Länge 5.40 m, Durchmesser 1,10 m
- 15148 Siliziumstreifenmodule:  $\sigma = 23 - 60 \mu\text{m}$  ( $r\phi$ )
- 1440 Siliziumpixelmodule:  $\sigma = 9 - 23 \mu\text{m}$  (r und z)
- 1d-Module: sensitive Koordinate in  $r\phi$
- 2d-Module:  $r\phi$ -Modul + stereo-Module rotiert um 100mrad



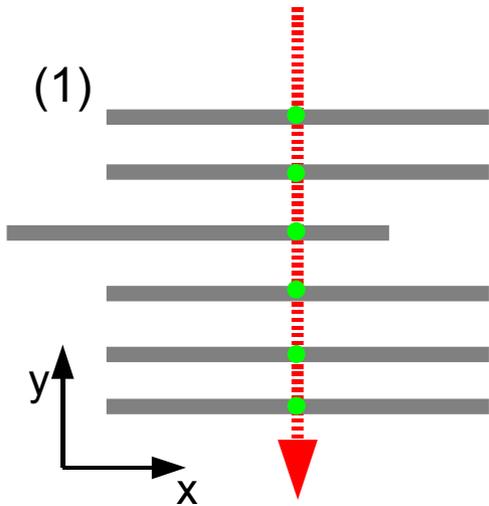


- Einbaugenauigkeit und Surveymessungen erlauben Positionsbestimmung im Bereich  $O(100\mu\text{m})$
- Für Physikanalysen notwendige Genauigkeit  $O(10\mu\text{m})$ , starker Einfluss des Misalignments z.B. auf b-tagging

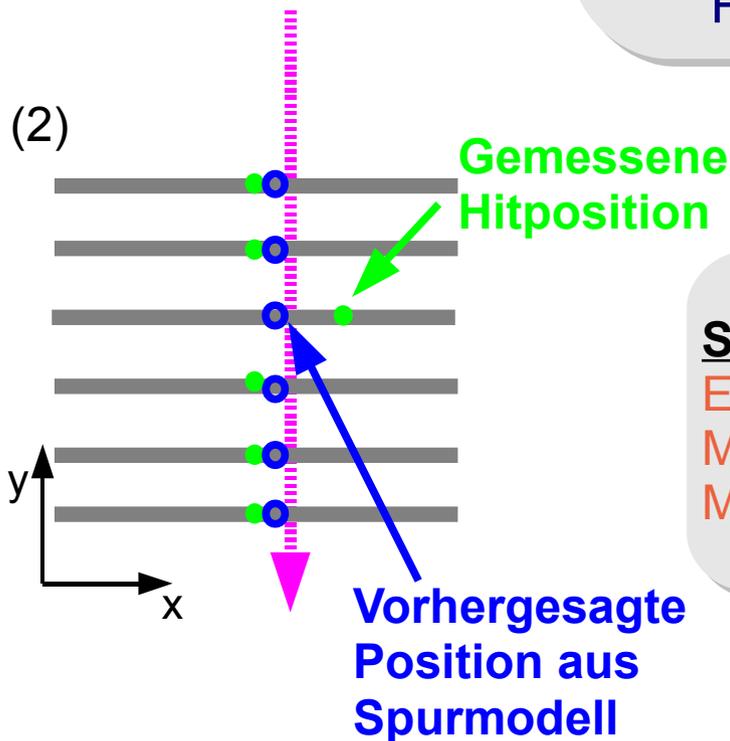
Spurdetektorhierarchie mit verschiedenen Einbaugenauigkeiten



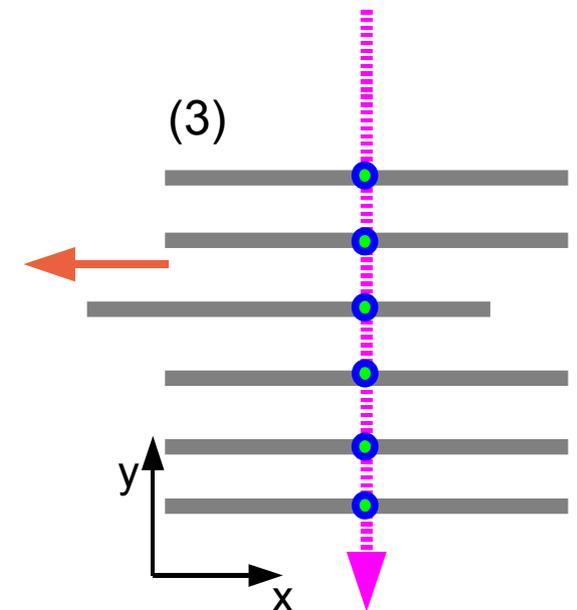
\* C.Saout, A.Scheurer, F.-P.Schilling und A.Schmidt



- (1) Myon passiert Detektormodul bei realer Geometrie  
 · **gemessene Hitposition**
- (2) Spurmodell startet von idealer/Design Geometrie  
 → “sieht” den Hit in x verschoben
- Residuum  $R = x_{\text{Spur}} - x_{\text{Hit}}$
- (3) Resultierende Geometrie liefert  
 Positionskorrekturen der einzelnen Module

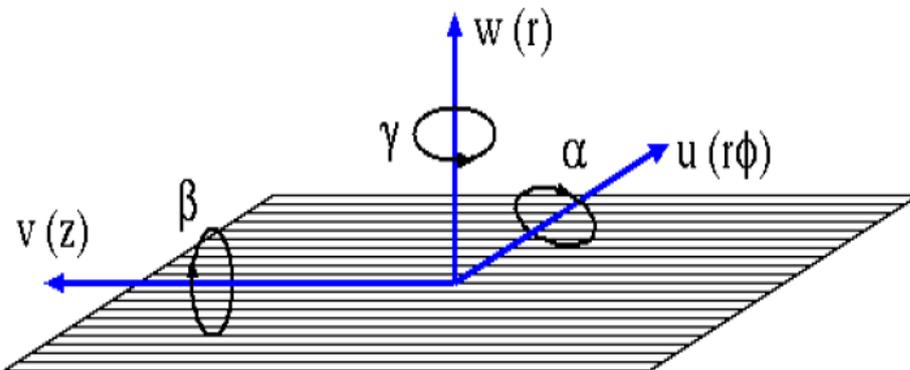


**Spurbasiertes Alignment :**  
 Ermittlung der realen  
 Modulposition durch  
 Minimierung der Residuen



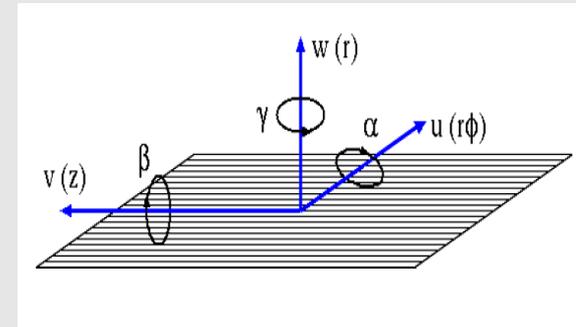
$$\chi^2(\tau, \mathbf{p}) = \sum_{j=1}^{N_{tracks}} \left( \sum_{i=1}^{N_{hits}} \frac{m_{ij} - f_j(\tau_j, \mathbf{p})}{\sigma_{ij}} \right)^2$$

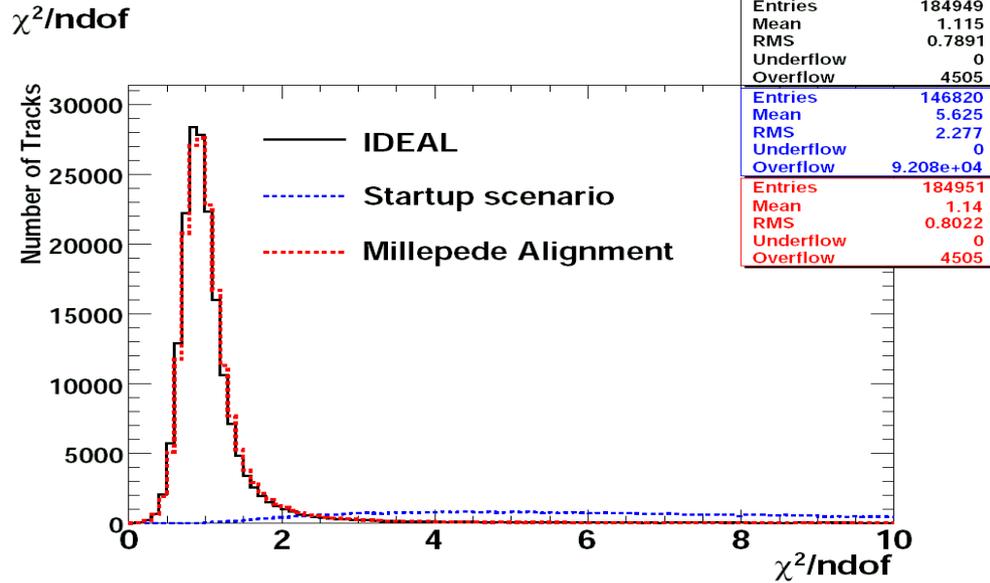
$m_{ij}$  = gemessene Hitposition  
 $f_j$  = Funktion der Trajektorie  $j$   
 $\tau_j$  = Spurparameter  
 $\mathbf{p}$  = bis zu 6 Starrkoerperparameter  
 $\sigma_{ij}$  = Fehler aus Hit und Spurvorhersage



- Globaler Ansatz zur  $\chi^2$ -Minimierung unter Berücksichtigung der auftretenden Korrelationen
- Unterscheidung zwischen globalen und lokalen Parametern ( $n_{\text{lokal}} \gg n_{\text{global}}$ )
- $\mathbf{p} = 6$  globale Alignmentparameter (3 Translationen  $u, v, w$  und 3 Rotationen  $\alpha, \beta$  und  $\gamma$ )
- $\tau_j$  lokale Parameter der  $j$ -ten Spur

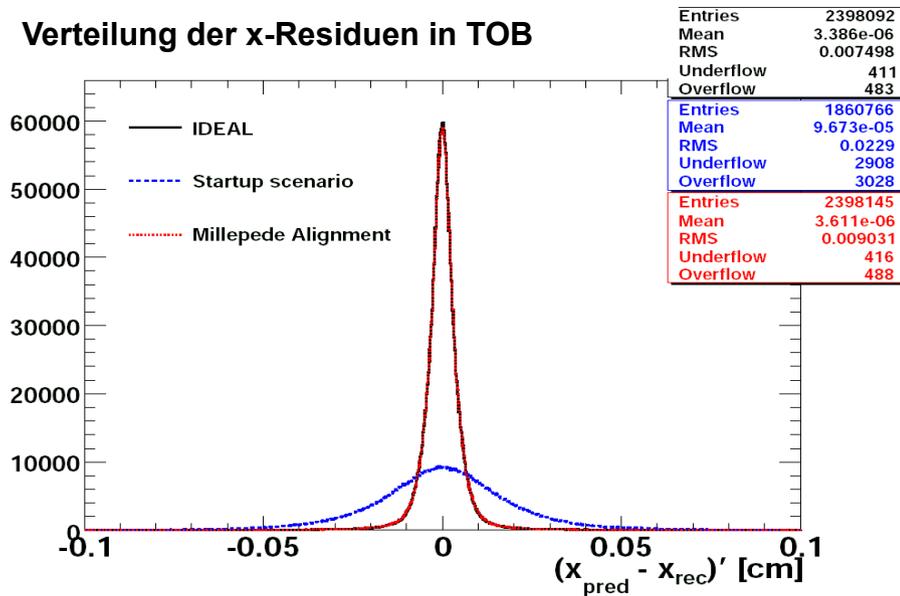
- Alignment mit simulierten Ereignissen, ausgehend von erwartetem Misalignment zu Beginn der Datennahme
- Aligntiert werden
  - 1.Schritt: Barrel und Endkappen auf höchster Hierarchieebene (HalfBarrels)
  - 2.Schritt: Barrel und Endkappen auf Modulebene, Ausnahme Pixelendkappen (Petal-Ebene), die Gesamtheit der Alignmentparameter im TOB wird festgehalten
  - Translationen  $u$  und  $w$  (1d-Module)
  - Translationen  $u, v$  und  $w$  (2d-Modulen)
  - $\gamma$ -Rotation,  $\alpha$ ,  $\beta$  nur im TIB
- 2 Mio. Spuren (mit Magnetfeld), analog zur Anzahl der Spuren in Daten
- Min. 10 hits pro Spur, 2 hits auf 2d-Modulen, Impuls  $p > 5\text{GeV}$
- Vergleich ideale Geometrie, Startgeometrie (erwartetes Misalignment) und Millepede II Alignment-Geometrie



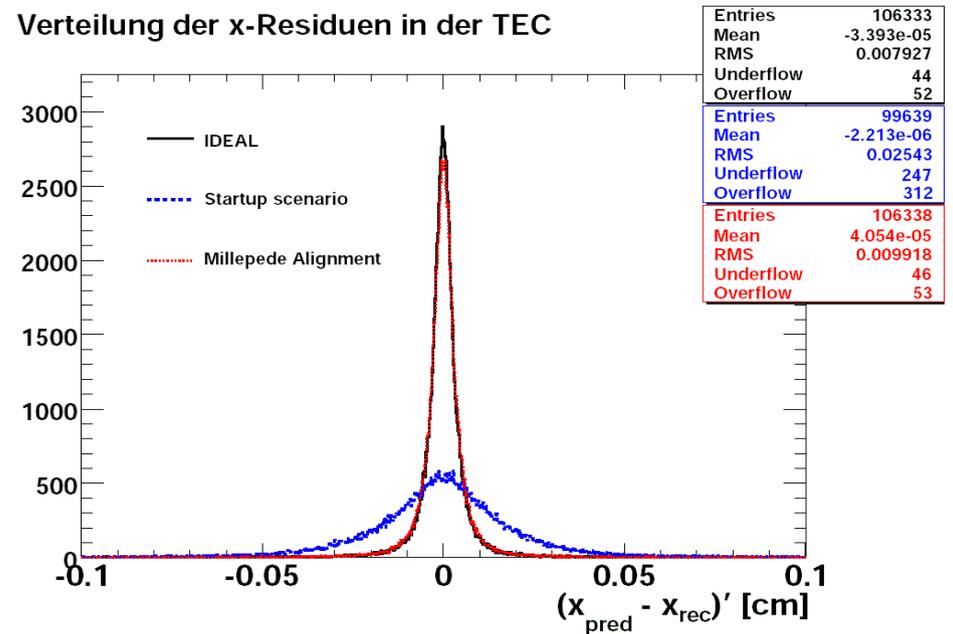


- $\chi^2$ -Minimierung liefert annähernd Verteilung wie mit idealer Geometrie
- Residuen in x in TOB und TEC annähernd zur idealen Geometrie
- TOB: rms=75 $\mu\text{m}$ (IDEAL)/90 $\mu\text{m}$ (MP)
- TEC: rms=79 $\mu\text{m}$ (IDEAL)/99 $\mu\text{m}$ (MP)

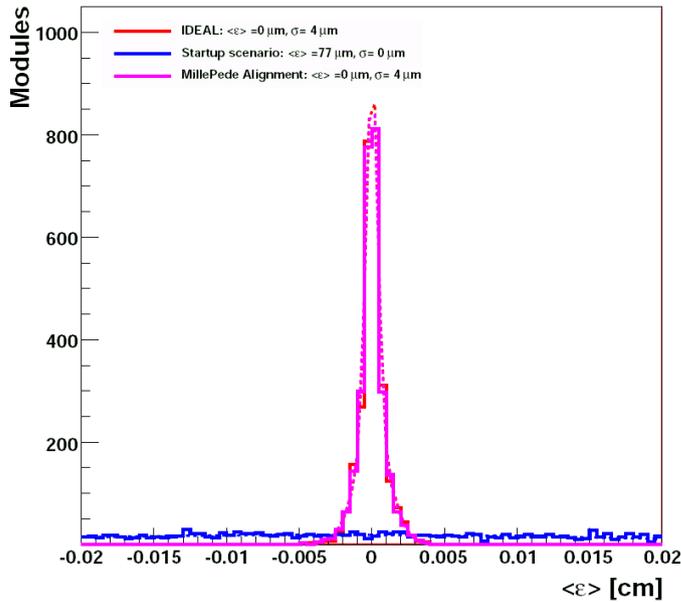
Verteilung der x-Residuen in TOB



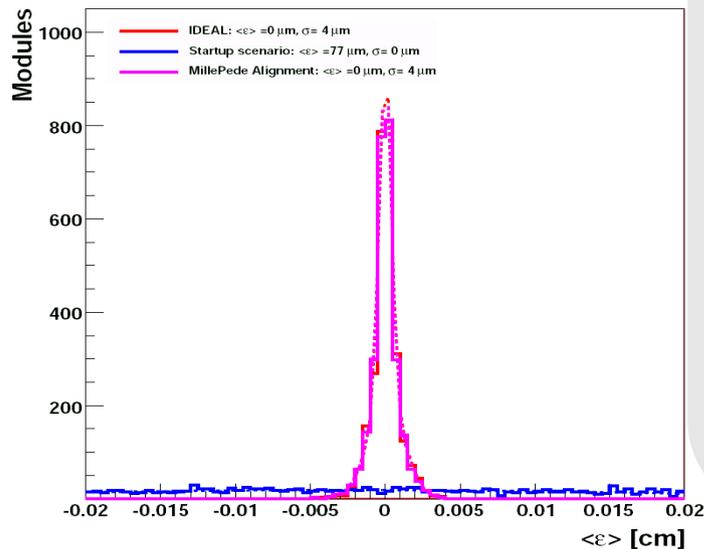
Verteilung der x-Residuen in der TEC



Distribution of the Mean of the Residuals for TIB

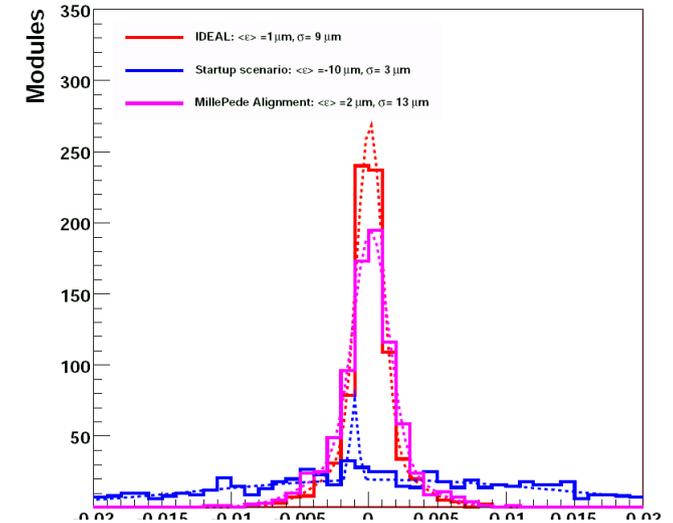


Distribution of the Mean of the Residuals for TIB

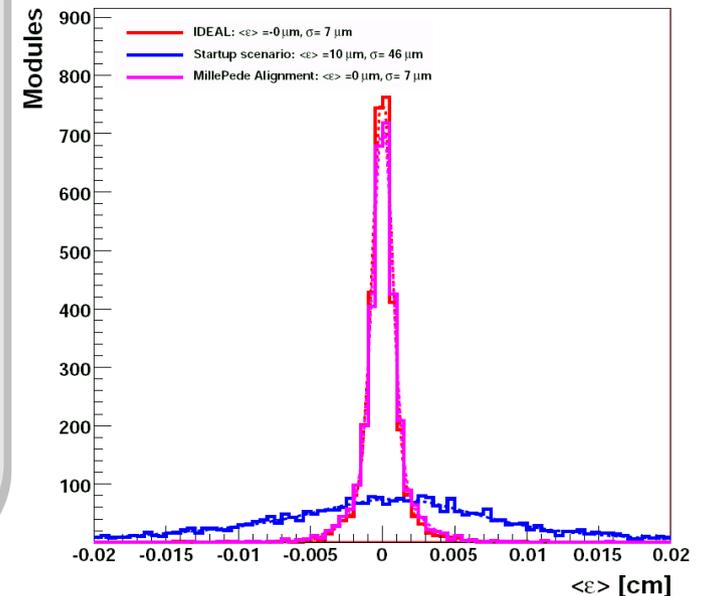


- Zentralbereich zeigt nahezu Übereinstimmung der Verteilung für ideale und alignierte Geometrie
- Endkappen zeigen noch Unterschiede (Statistik in Endkappen deutlich geringer) → eventuell großzügigere Spurauswahl in den Endkappen

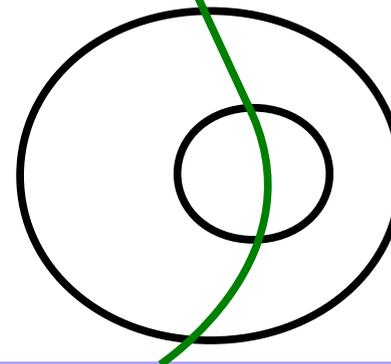
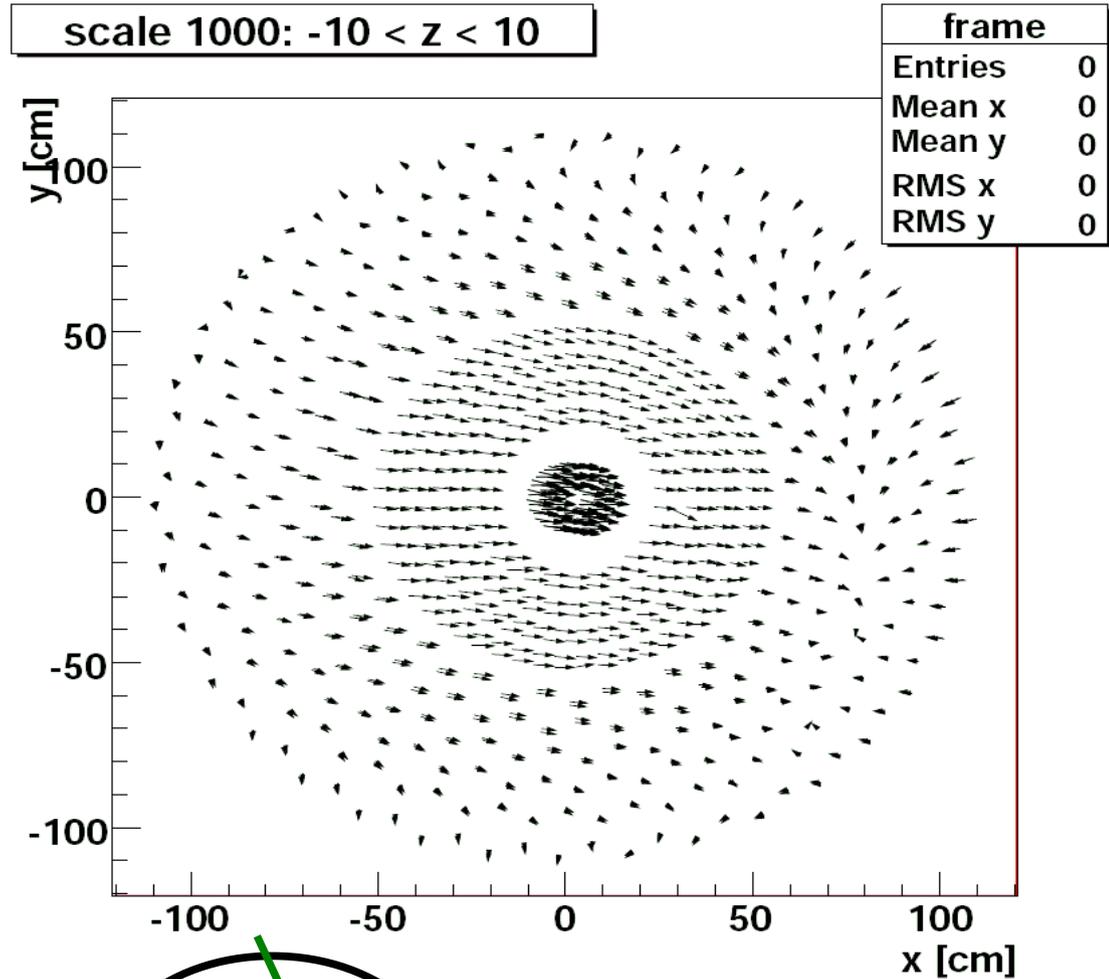
Distribution of the Mean of the Residuals for TID



Distribution of the Mean of the Residuals for TEC

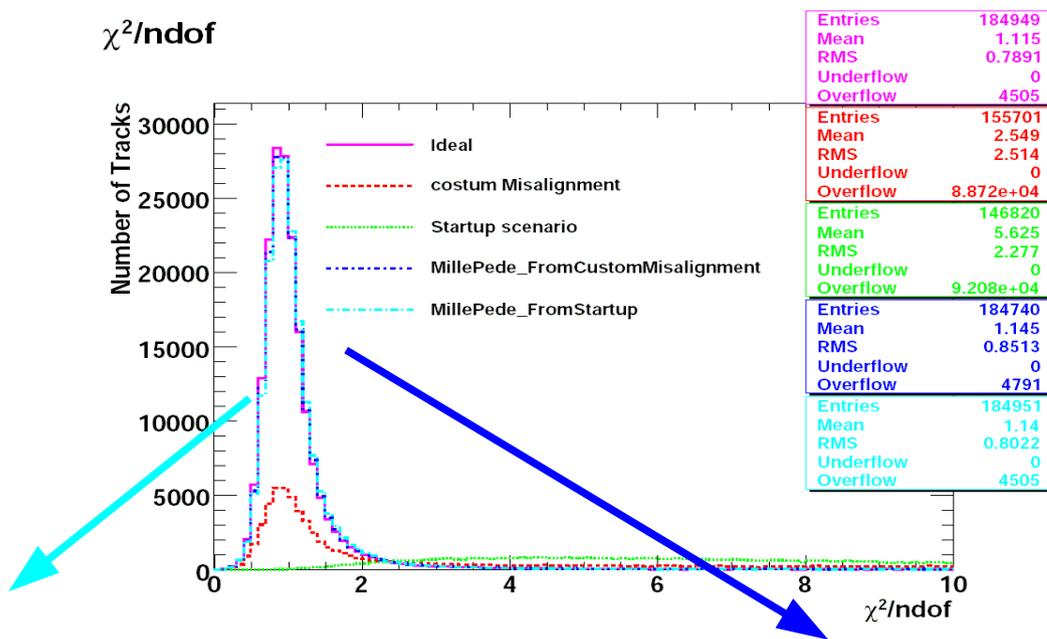


- Geometrievergleich: Modulpositionen im Vergleich zu idealer Geometrie
- Hinweis auf  $\chi^2$ -invariante Verzerrung
- Kaum Einfluss durch Veränderungen der Spurselektion
- Starke Abhängigkeit der Anfangsgeometrie, bei gleicher  $\chi^2$ -Verteilung und Residuen

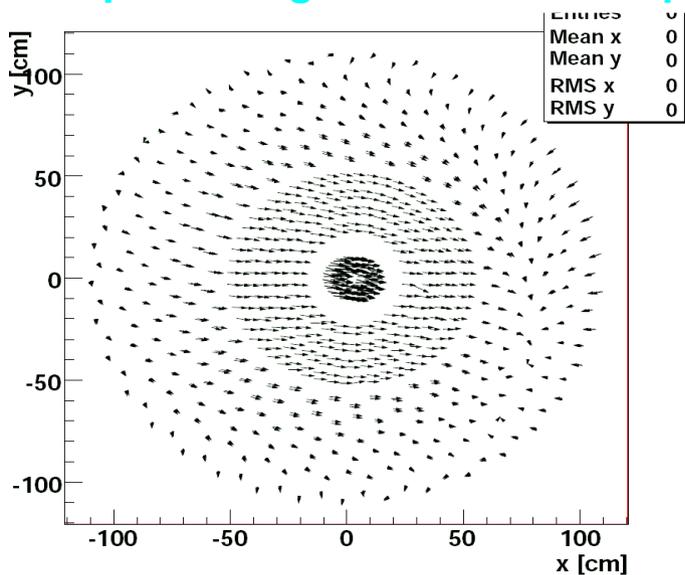


Krümmung abhängig vom Impuls  $p$  (= Fit Parameter)

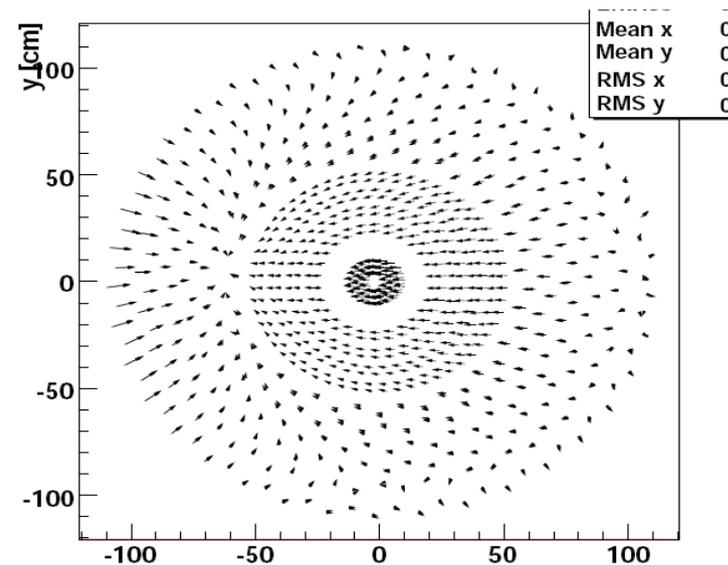
$\chi^2/\text{ndof}$



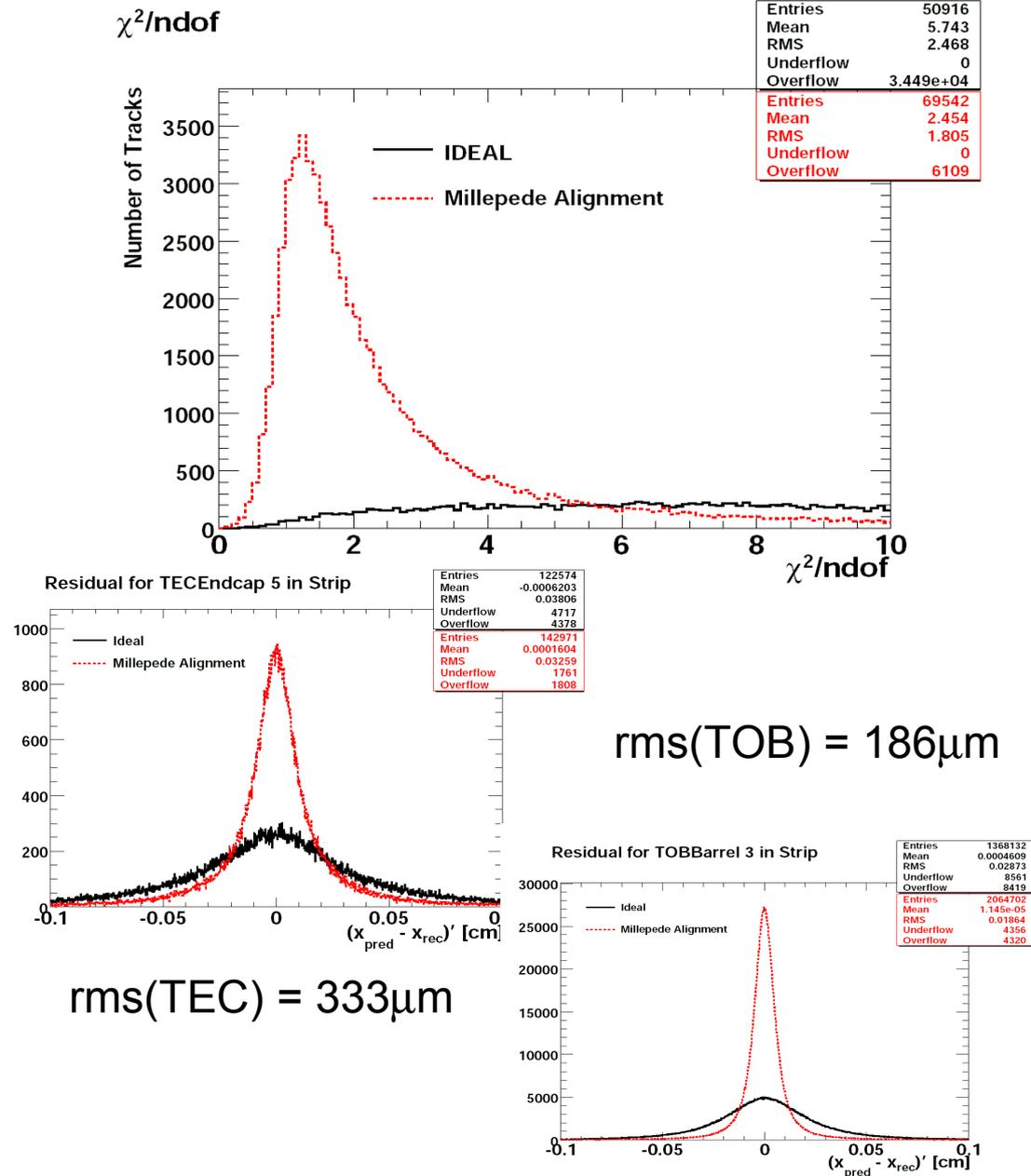
Millepede ausgehend von Startup



Millepede ausgehend von benutzerdefiniertem Misalignment



- Ausgehend von der CMS-Design Geometrie
- ca. 2 Mio Spuren, äquivalente Konfiguration wie bei Simulierten Ereignissen:
  - 6 Freiheitsgrade der höchsten Hierarchiestrukturen
  - Gesamtheit der TOB-Module als Referenz festgehalten
  - u,w ( und v) Translationen für die 1d(2d)-Module u,w ( und v) Translationen für die 1d(2d)-Module
  - $\gamma$ -Rotation,  $\alpha, \beta$  im TIB
  - TPE Alignment auf Petal Niveau (aufgrund mangelnder Statistik)
- Signifikante Verbesserung in  $\chi^2$  und x-Residuen



- Analyse mit simulierten Ereignissen zeigt:
  - Keine statistische Limitierung im Zentralbereich, leichte Einschränkungen in den Endkappen
  - $c_2$ -invariante systematische Verzerrungen, abhängig von Spurauswahl und von Startgeometrie
- Analyse mit Daten:
  - $\chi^2$ -Verteilungen zeigen deutliche Verbesserung gegenüber der Startgeometrie, aber längere Ausläufer als in simulierten Daten
  - deutliche Verbesserung der Residuen und Verteilungen der Mittelwerte der Residuen
- Nächste Schritte:
  - Kombination mit OT Spuren
  - Untersuchung der  $\chi^2$ -invarianten Verzerrungen