

Untersuchung von Rekonstruktionsmethoden für eine GEM-basierte Zeit-Projektions-Kammer

Ralf Diener

FLC TPC Gruppe



bmb+f - Förderschwerpunkt

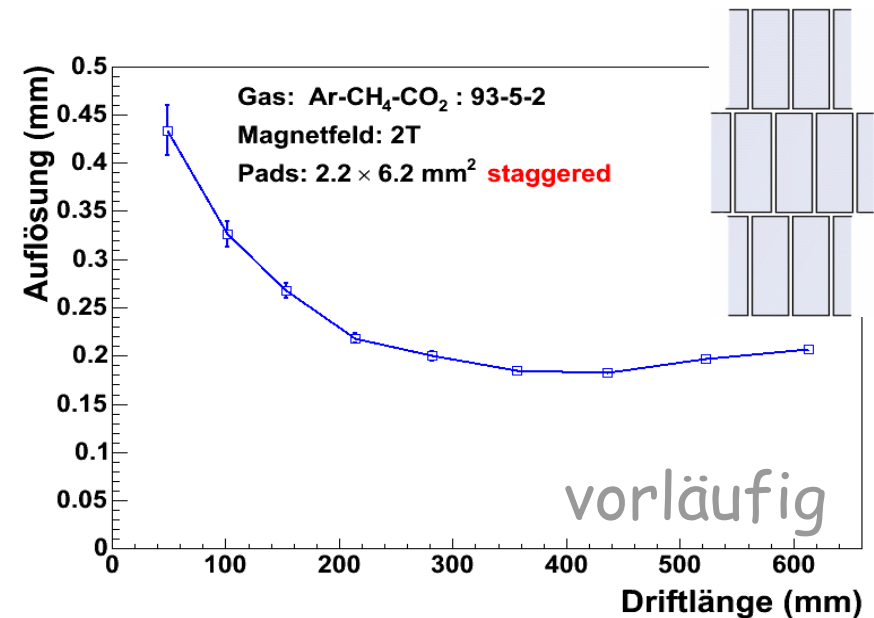
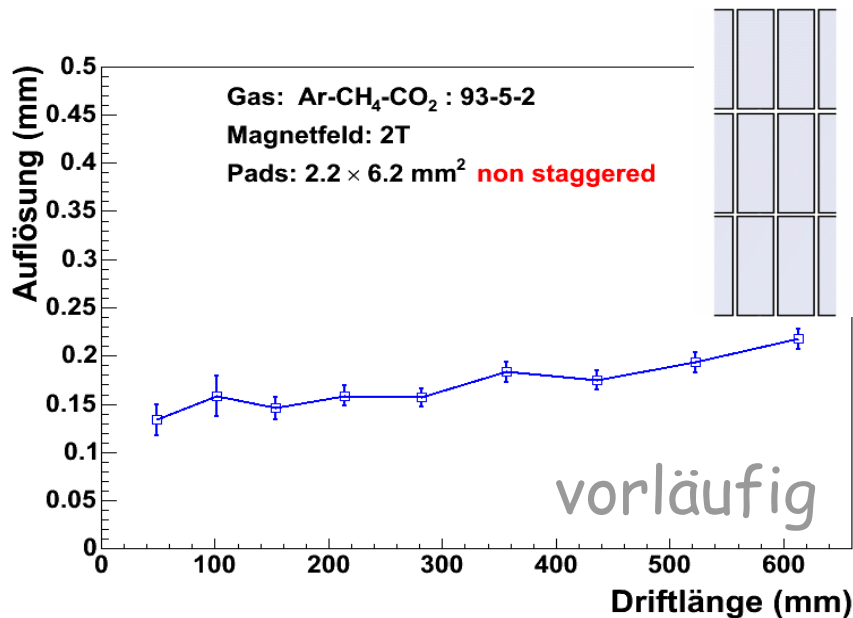
Elementarteilchenphysik

Großgeräte der physikalischen
Grundlagenforschung



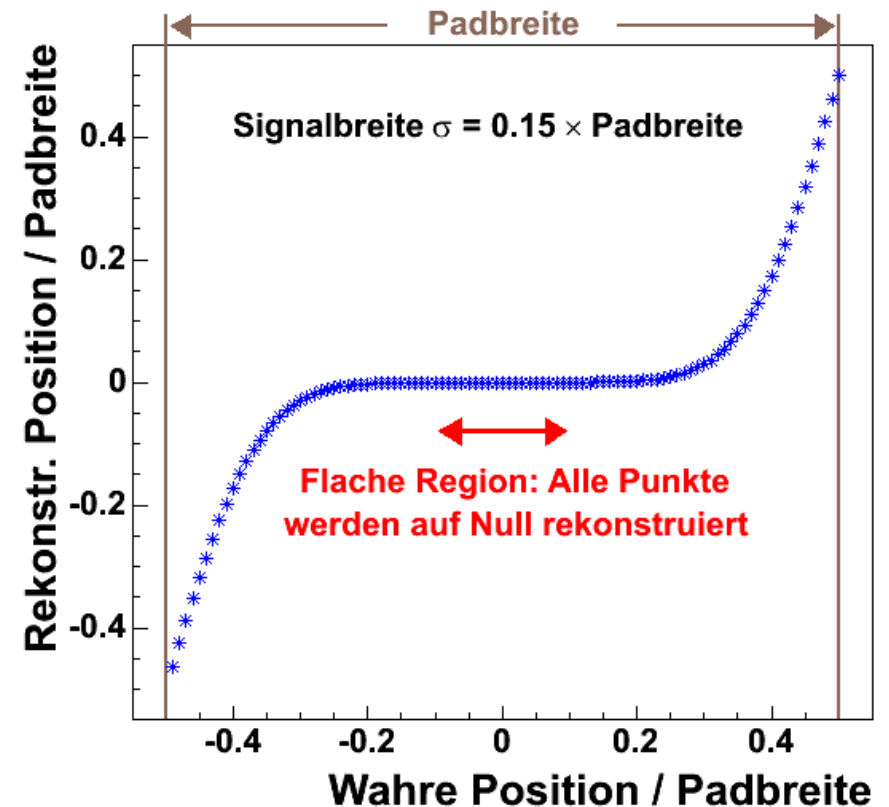
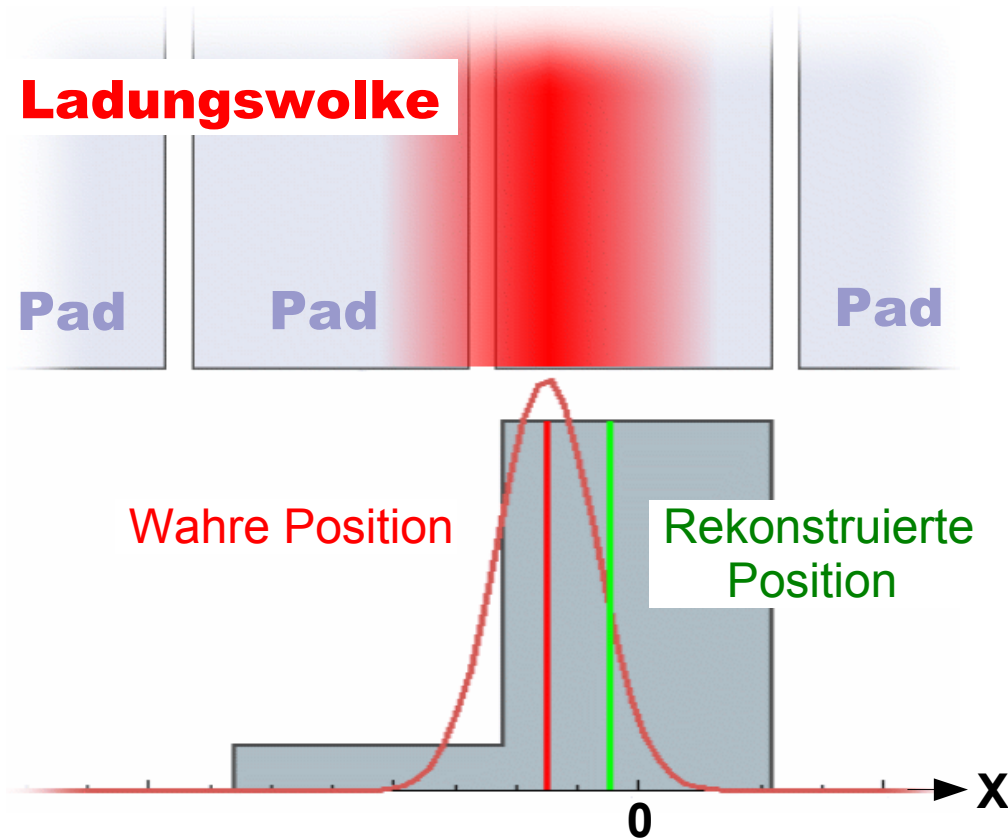
Universität
Hamburg

Motivation



- Auflösung für **non-staggered** Pad Layout (Chi-Quadrat Methode)
 - ♦ Erwartete Abhängigkeit der Auflösung von der Drift-Distanz
- Auflösung für **staggered** Pad Layout:
 - ♦ Ansteigende Werte bei kurzen Drift-Distanzen
 - ♦ Erklärung: schmale Ladungsverteilung erzeugt nur auf einem oder wenigen Pads ein Signal → X-Position des Punktes wird nicht korrekt bestimmt

Pad Response Funktion

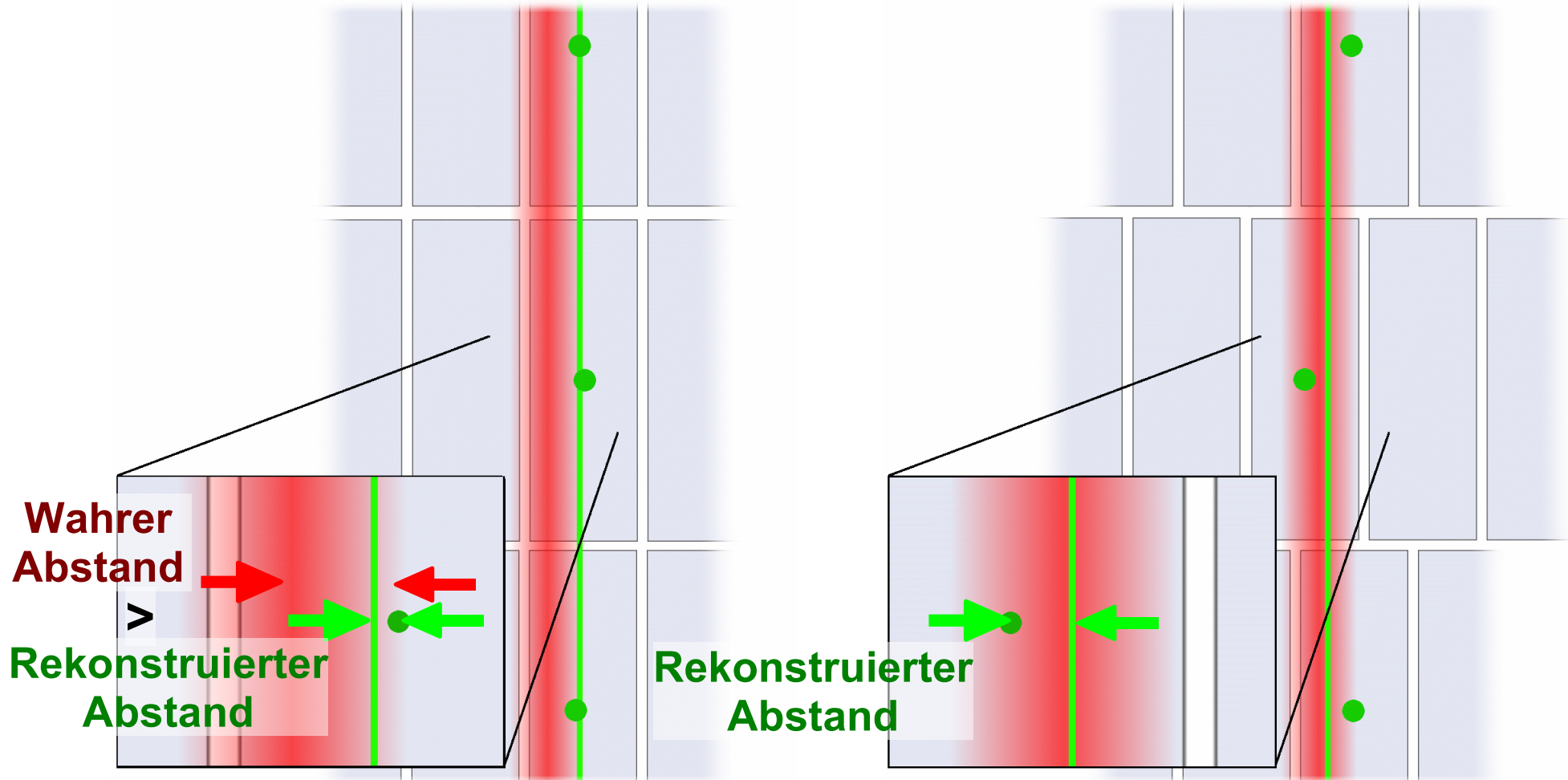


- Schmale Ladungsverteilung \rightarrow nicht genug Ladungsteilung
- Punkt-Position wird fälschlicherweise zu der Mitte des Pads mit dem höchsten Signal hin rekonstruiert

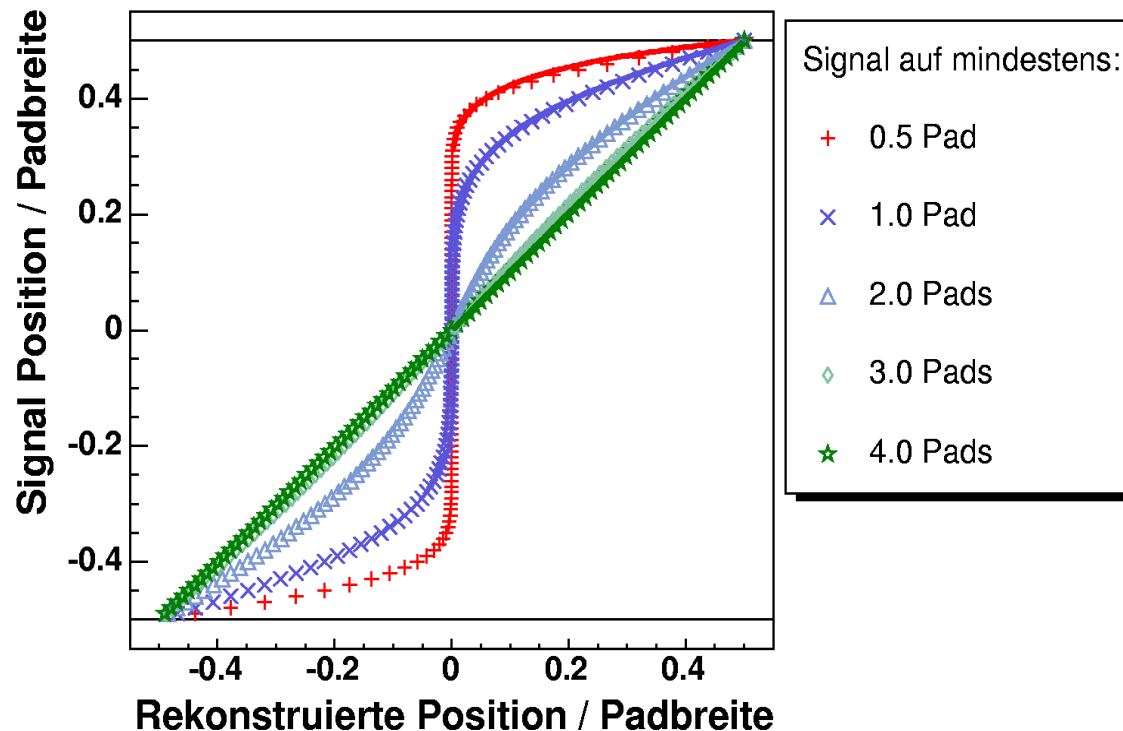
Effekte der Pad Response

Non-staggered Layout:
rekonstruierte Spur wird zu den
rekonstruierten Punkten hingezogen
Berechnete Residuen zu klein

Staggered Layout:
Punkte werden in zu großem
Abstand von der Spur rekonstruiert
Berechnete Residuen zu groß



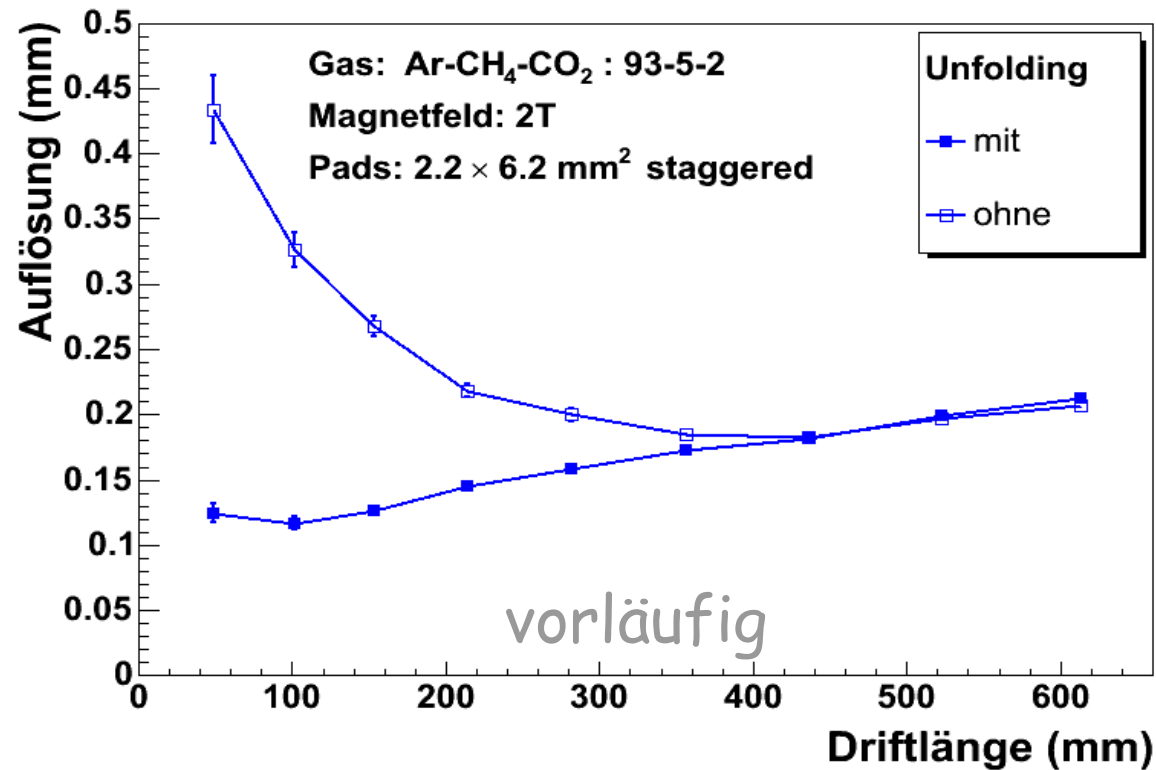
Implementation der Pad Response Korrektur



- Parametrisierte Pad Response Korrektur
- Input: Diffusions- und Defocussing-Koeffizienten (Werte von MAGBOLTZ)

- Keine flache Region, wenn **Signal auf mehr als 1 Pad**
- Gerade (keine Korrektur der Punktpositionen nötig), wenn **Signal auf mindestens 4 Pads**

Punkt-Auflösung mit Pad Response Korrektur

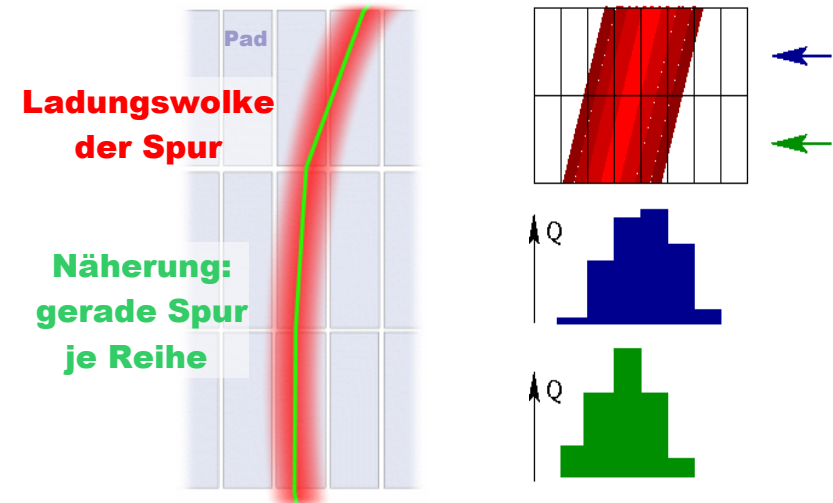


- Die Pad Response Korrektur in der Punkt-Rekonstruktion verbessert die Berechnung der Punkt-Auflösung signifikant

Globale Fit Methode

(TPC-Gruppe der Carleton University, Canada)

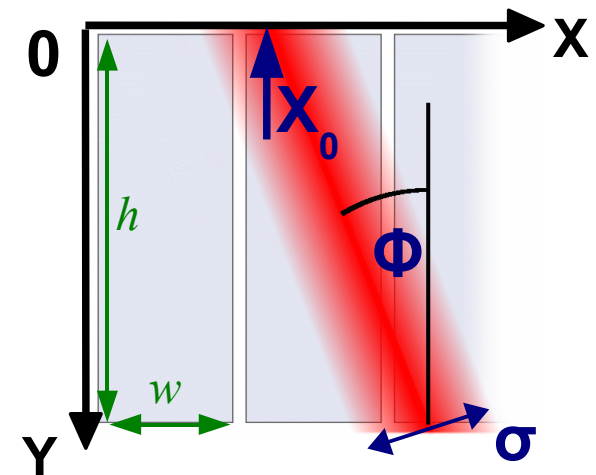
- Annahmen:
 - Je Reihe kann die Spur durch Gerade angenähert werden (kleine Krümmung)
 - Ladungswolke ist Gauß-verteilt
- Abgleich erwarteter und gemessener Ladung in der XY-Projektion für gesamte Padplane
→ Maximierung der Log-Likelihood Funktion, welche die Ladung pro Pad beschreibt:



$$\ln L = \sum_{\text{Pad}} Q_{\text{measured}} \ln \left[\frac{Q_{\text{expected}}}{\sum_{\text{Row}} Q_{\text{expected}}} \right]$$

$$\text{mit } Q_{\text{exp}} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} dy \int_{-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} dx \frac{1}{2\pi\sigma} e^{-\frac{[(x-X_0)\cos(\phi)+y\sin(\phi)]^2}{2\sigma^2}}$$

- Parameter:
Intercept X_0 (x für $y=0$), Azimuthal Winkel Φ ,
Krümmung C , σ (Breite der Ladungsverteilung)



Weitere Infos: *TPC Performance in Magnetic Fields with GEM and Pad Readout*; Karlen, Poffenberger, Rosenbaum; NIM-A, Vol 555, Seite 80

Monte Carlo Simulation

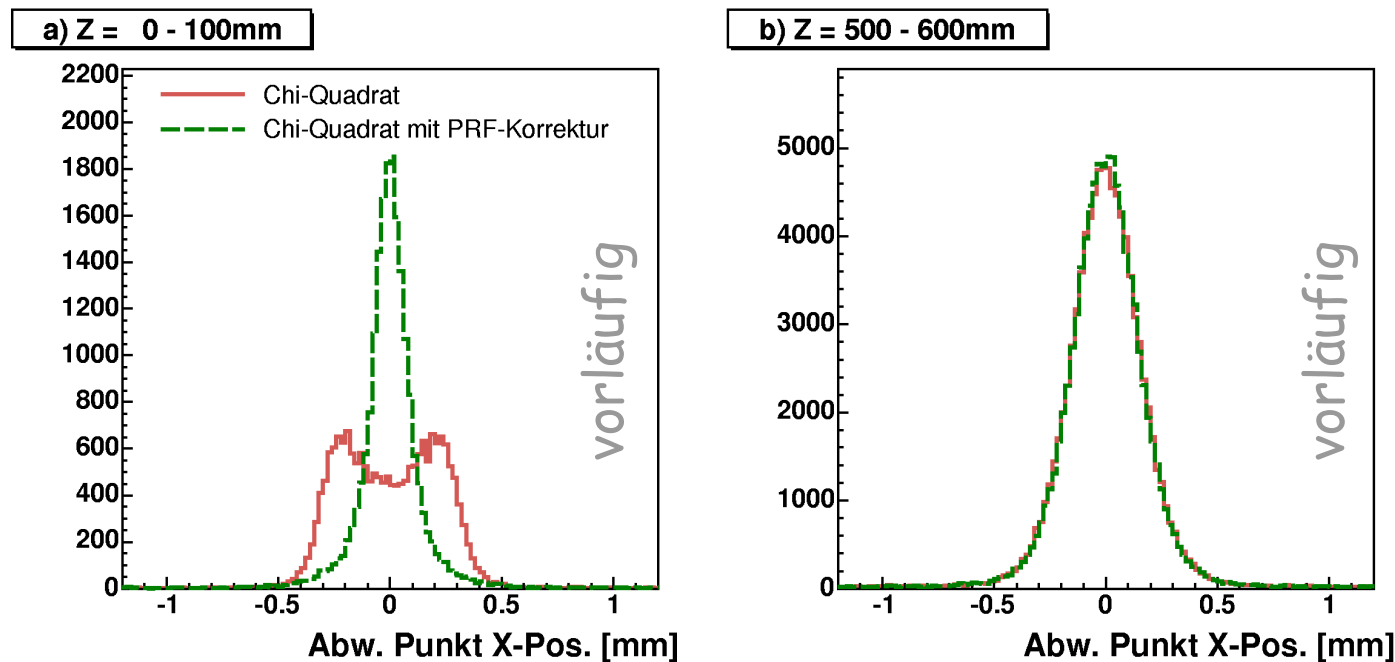
- Zielsetzung: Flexibles Simulationswerkzeug
 - Kosmische Muonen, Teststrahl (Elektronen)
 - Anpassbare Geometrie für verschiedene Prototypen
 - 3 GEM Struktur mit einzeln einstellbarer effektiv. Verstärkung
 - Verschiedene Auslese-Geometrien (Pad Form und Layout)
- Arbeitsprinzip
 - Muon Generator liefert gerade Spuren mit realistischer Energie- und Winkelverteilung
 - Prototyp-Geometrie und Trigger-System

E- und B-Feld, Gaseigenschaften (Zusammensetzung, Druck, Wassergehalt) werden im folgenden berücksichtigt:

 - Primär-Ionisation wird mit HEED simuliert
 - Erwartungswerte für Diffusion, Drift-Geschw. von MAGBOLTZ
 - Gas-Verstärkung und Signal-Auslese auf der Pad-Ebene

Punktrekonstruktion mit und ohne Pad Response Korrektur

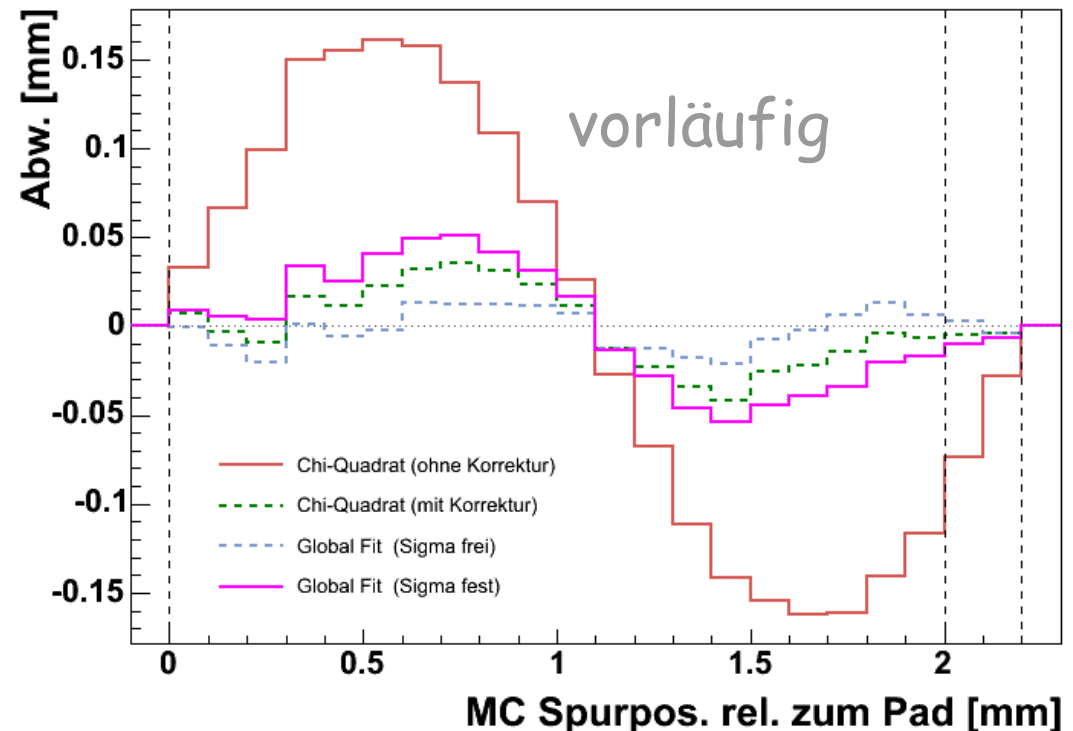
- Monte Carlo Simulation (2T, P5 Gas) für staggered Pad Layout
- Abstand der rekonstruierten Punkte zur Monte Carlo Spur:



- Kurze Drift-Distanz: starker positiver Effekt durch PRF-Korrektur
- Große Drift-Distanz: breite Ladungsverteilung auf vielen Pads
→ keine Korrektur mit PRF nötig

Abstand der Punkte von der MC Spur

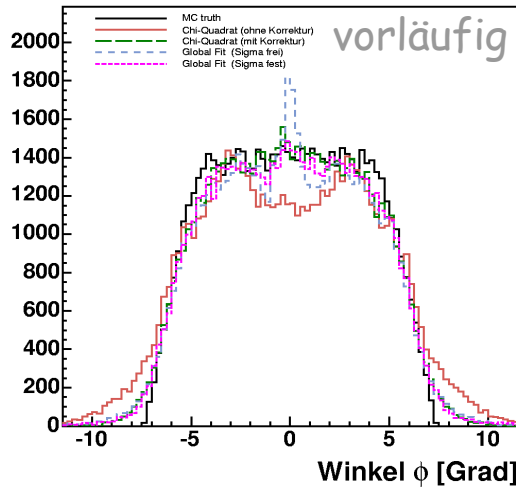
- Monte Carlo Simulation (4T, P5 Gas) für staggered Pad Layout
- Mittlerer Abstand der rekonstruierten Punkte von der Monte Carlo Spur in Abhängigkeit der Lage der Spur relativ zum Pad:



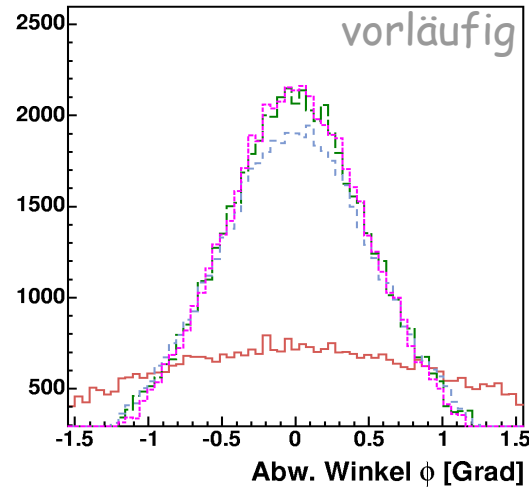
- Verbesserung bei Chi-Quadrat Methode durch Pad Response Korrektur deutlich sichtbar
- Resultate vergleichbar mit der Punktreakonstruktion der Globalen Fit Methode

Vergleich der Fit-Methoden

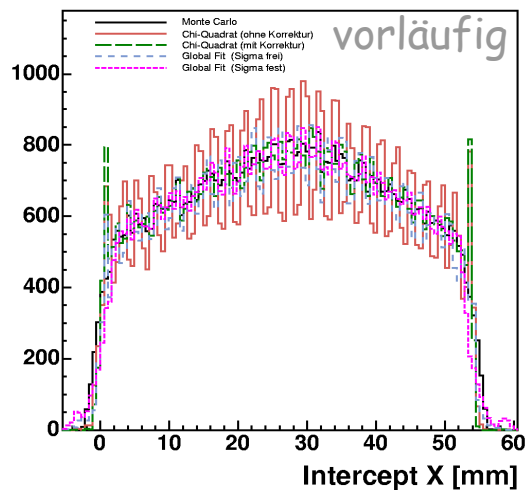
a) Winkel



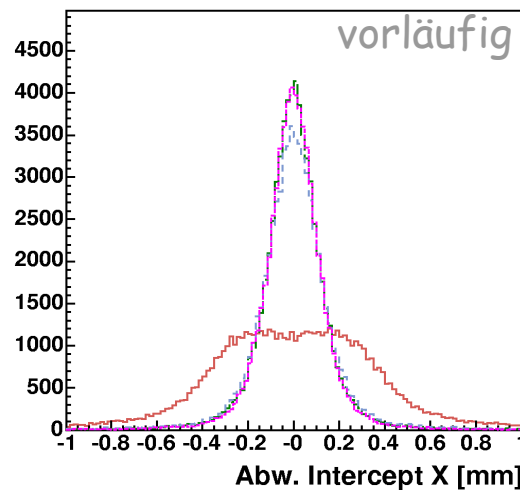
b) Abw. von Monte Carlo



a) Intercept X

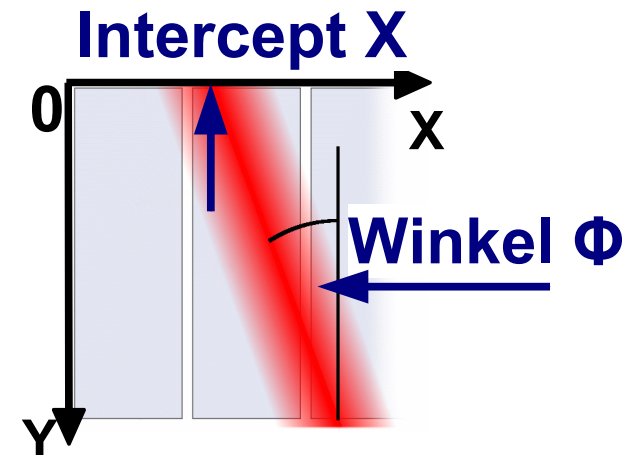


b) Abw. von Monte Carlo



- Effizienz für Fit einer gekrümmten Spurhypothese (4T, P5 Gas, 150ppm H₂O)

- Chi-Quadrat 100,00 %
- Chi-Quad. (PRF) 100,00 %
- Global (σ frei) 97,46 %
- Global (σ fixiert) 98,26 %
- Global (gerade) > 99,40 %



- **Zusammenfassung**

- Pad Response Korrektur resultiert in zuverlässigeren Resultaten:
 - Punkt-Rekonstruktion (Spur-Anpassung)
 - Berechnung der Punkt-Auflösung
- Funktionierende Monte Carlo Simulation
- Sowohl die Chi-Quadrat als auch die Globale Fit Methode scheinen geeignet zu sein

- **Ausblick**

- Weitere Studien der Pad Response Korrektur (Winkelabh.) und der Globalen Fit Methode
- Verbesserung der Monte Carlo Simulation
- Simulation und Messung mit mehr als 6 bzw. 8 Pad Reihen:
 - besseres Verhältnis: freie Parameter / Messwerte
 - zuverlässigerer Fit
- Simulation und Analyse der Auswirkungen verschiedener Pad-Größen, Formen und Layouts
- Weitere Analysen der Effizienzen und Vergleich der Methoden