Vertexrekonstruktion für das Mu3e Experiment

Sebastian Schenk
für die Mu3e Kollaboration

Physikalisches Institut, Universität Heidelberg

25. März 2014

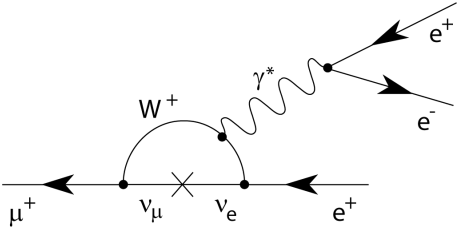
Der Zerfall

$$\mu^+ \to e^+ e^- e^+$$

verletzt Lepton-Flavour Erhaltung

Der Zerfall $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$

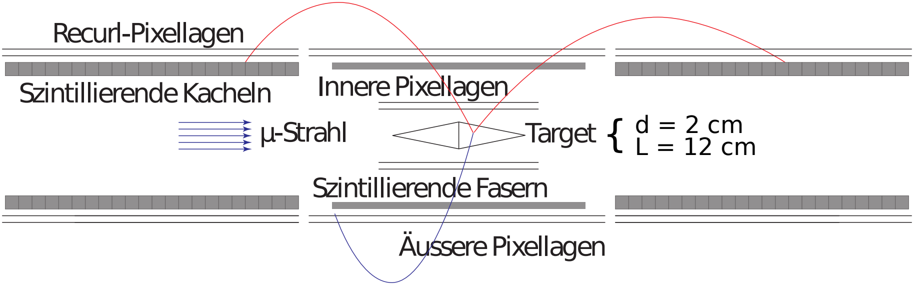
- $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$ möglich durch Neutrinooszillation



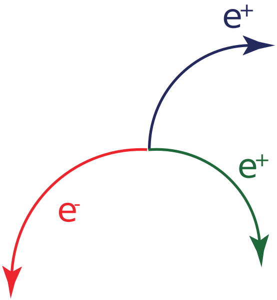
- Verzweigungsverhältnis $B << 10^{-50}$
  $\Rightarrow$ Unterdrückt im Standardmodell (SM)
  $\Rightarrow$ Beobachtung klares Zeichen für Physik jenseits des SM

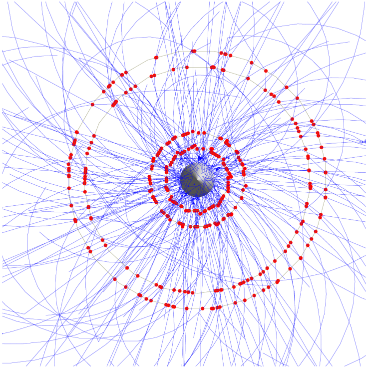
Mu3e

- **Ziel**: Sensitivität Verzweigungsverhältnis $B < 1 \times 10^{-16}$
- Beobachte mehr als 10^{17} Myon Zerfälle
  $\Rightarrow$ Stopp Rate $\mathcal{O}(\mathrm{GHz})$
- 4 zylindrische Lagen Pixeldetektoren in Magnetfeld
  $\Rightarrow$ Innerste Lage $d \approx 4\,\mathrm{cm}$



Signal

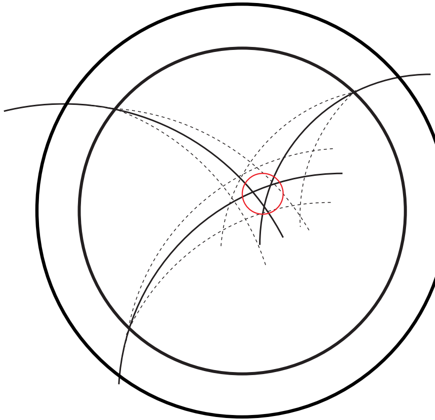




Ein Merkmal von $\mu^+ \to e^+e^-e^+$ ist ein gemeinsamer Vertex.
Dieser muss rekonstruiert werden.

Herausforderungen

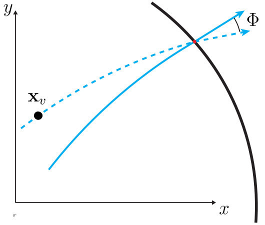
- Impulse $p_e = 10 - 50\,\mathrm{MeV}$
  $\Rightarrow$ Vielfachstreuung $\sigma \propto \frac{1}{p}$
- Magnetfeld $B = 1\,\mathrm{T}$
  $\Rightarrow$ Stark gekrümmte Trajektorien
- Vertexrekonstruktion kompliziert



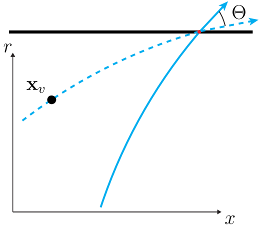
Vertexrekonstruktion

Idee

- Vielfachstreuung dominant
  $\Rightarrow$ Vernachlässige Ortsauflösung
- Linearisiere Track Modell um möglichen Vertex $\mathbf{x}_v$
- Definiere Streuwinkel $\Phi(\mathbf{x}_v)$ und $\Theta(\mathbf{x}_v)$
- Definiere und minimiere eine $\chi^2(\Phi, \Theta)$-Funktion
  $\Rightarrow$ Bessere Schätzung von $\mathbf{x}_v$



(a) Transversale Ebene



(b) Longitudinale Richtung

Vertexrekonstruktion

Mathematische Beschreibung

- χ^2-Funktion

$$\chi^2(\mathbf{x}_v) := \sum_{i=1}^{3} \left[\frac{\Phi_i^2(\mathbf{x}_v)}{\sigma_{\Phi,i}^2} + \frac{\Theta_i^2(\mathbf{x}_v)}{\sigma_{\Theta,i}^2} \right]$$

- Linearisiere Winkel um initiale Vertexposition $\mathbf{x}_v = \mathbf{x}_{v,0} + \Delta\mathbf{x}_v$

$$\begin{aligned} \Phi_i(\mathbf{x}_v) &= \Phi_i(\mathbf{x}_{v,0}) + \langle \Delta\mathbf{x}_v, \nabla\Phi_i(\mathbf{x}_{v,0}) \rangle \\ \Theta_i(\mathbf{x}_v) &= \Theta_i(\mathbf{x}_{v,0}) + \langle \Delta\mathbf{x}_v, \nabla\Theta_i(\mathbf{x}_{v,0}) \rangle \end{aligned}$$

- Minimiere $\chi^2(\mathbf{x}_v)$ bezüglich $\Delta\mathbf{x}_v$

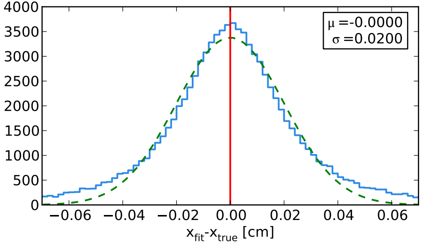
$$\nabla\chi^2(\mathbf{x}_v) = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathbf{F}\Delta\mathbf{x}_v + \mathbf{C} = 0$$

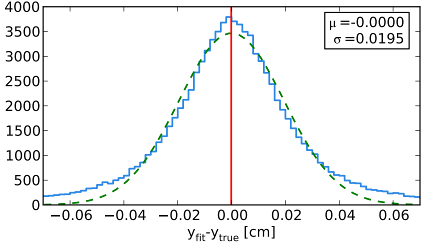
- Mehrere Iterationen

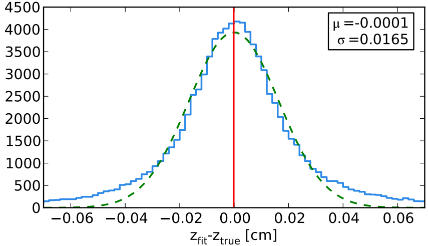
$$\mathbf{x}_{v,n+1} = \mathbf{x}_{v,n} + \Delta\mathbf{x}_{v,n} \qquad \text{mit} \quad n \in \mathbb{N}$$

Ergebnisse

Residuen Vertexposition







- Kein Bias
- Vertexauflösung δx_v von $165 - 200\,\mu\mathrm{m}$
- Beste Auflösung in longitudinaler Richtung

χ^2-Verteilung

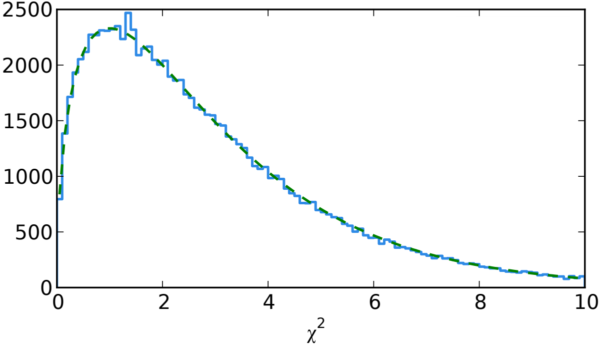
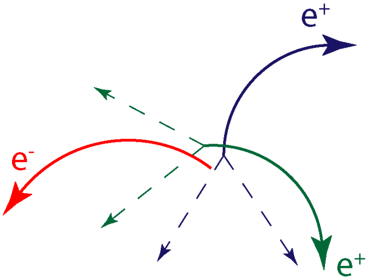
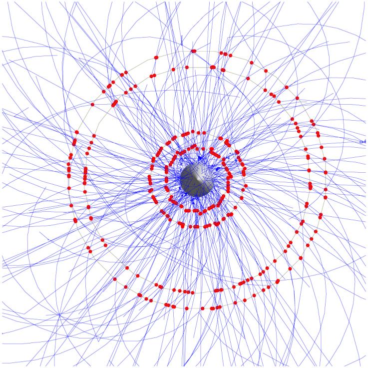


Abbildung : Verteilung von $\chi^2(\mathbf{x}_v)$ für rekonstruierte Vertexpositionen $\mathbf{x}_v$.

- $\chi^2(\mathbf{x}_v) \sim \chi^2_3 \Rightarrow \chi^2(\mathbf{x}_v)$ wohldefiniert bzgl. Vertexrekonstruktion

Unterdrückung von Untergrund





Zufälliger Untergrund soll unterdrückt werden.
Es gibt keinen gemeinsamen Vertex.

χ^2-Verteilung
Zufälliger Untergrund

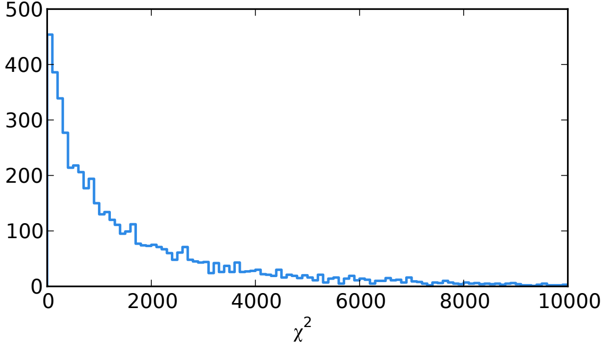
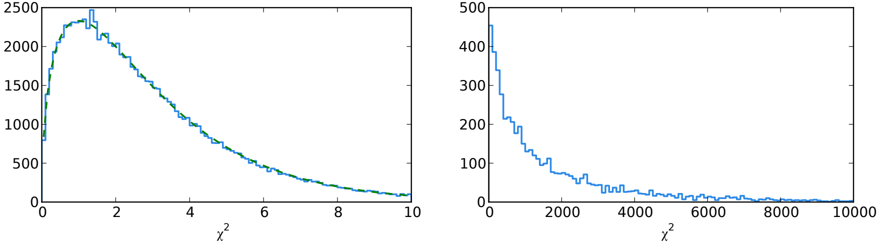


Abbildung : $\chi^2(\mathbf{x}_v)$-Verteilung für eine zufällige Untergrund Stichprobe.

χ^2-Verteilung

Signal und Untergrund im Vergleich



(a) Signal (b) Untergrund

Abbildung : Verteilung von $\chi^2(\mathbf{x}_v)$ für rekonstruierte Vertexpositionen $\mathbf{x}_v$.

- $\chi^2(\mathbf{x}_v)$ nützliches Kriterium, um Signal von Untergrund zu trennen

Effizienz vs. Unterdrückung

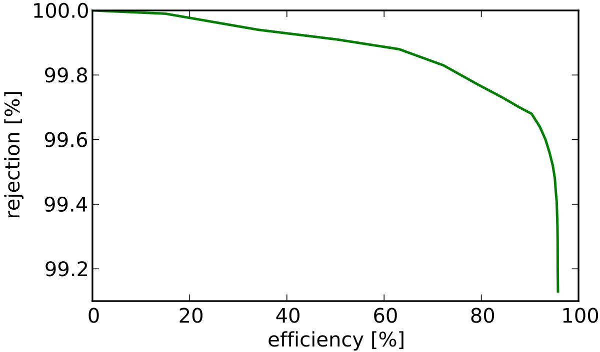
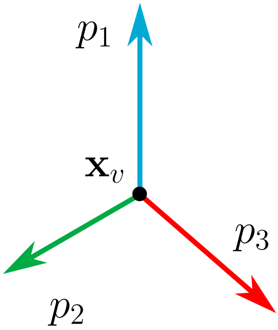


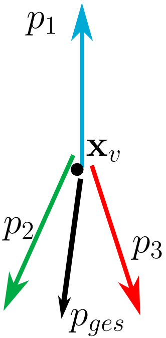
Abbildung : Effizienz vs. Unterdrückung auf Basis eines χ^2 Schwellwerts.

Rekonstruktion der invarianten Masse



$$\sum_{i=1}^{3} \mathbf{p}_i = 0$$

$$\Rightarrow \; M^2 = m_\mu^2$$



$$\sum_{i=1}^{3} \mathbf{p}_i \neq 0$$

$$\Rightarrow \; M^2 < m_\mu^2$$

Rekonstruktion der invarianten Masse

Auflösung

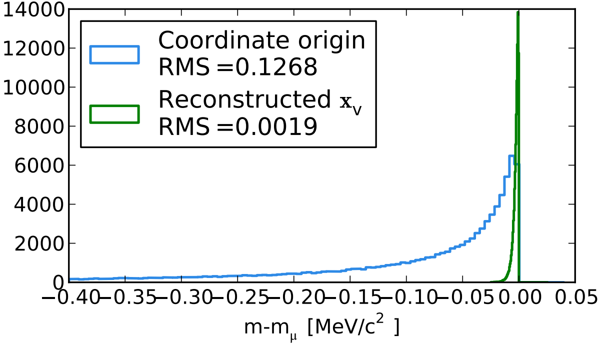
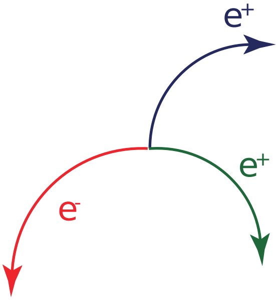


Abbildung : Verteilung der Residuen der rekonstruierten invarianten Masse bzgl. der Myon Masse m_μ für Signale, rekonstruiert im Ursprung und am rekonstruierten Vertex.

Fazit



- Vertexrekonstruktion funktioniert
- Vertexauflösung δx_v von $165 - 200\,\mu\mathrm{m}$
- Unterdrückung von Untergrund