

Der Mu3e Tile Detektor

Patrick Eckert
Kirchhoff-Institut für Physik
DPG Tagung Dresden 06.03.2013



KIRCHHOFF-
INSTITUT
FÜR PHYSIK



RUPRECHT-KARLS-
UNIVERSITÄT
HEIDELBERG



Inhalt

- Motivation: Der $\mu \rightarrow eee$ Zerfall
- Das Mu3e Experiment
- Der Mu3e Tile Detektor
 - SiPMs
 - Simulation
 - **Zeitauflösung & Effizienz**
- Zusammenfassung



Der $\mu \rightarrow eee$ Zerfall

- LFV Zerfall $\mu^+ \rightarrow e^+ e^- e^+$ im Standard Modell stark unterdrückt ($BR \ll 10^{-50}$)
- Messbares Signal in vielen BSM Theorien vorhergesagt
- Bisheriges Limit: $BR \approx 10^{-12}$
- Mu3e Experiment: **$BR \approx 10^{-16}$**



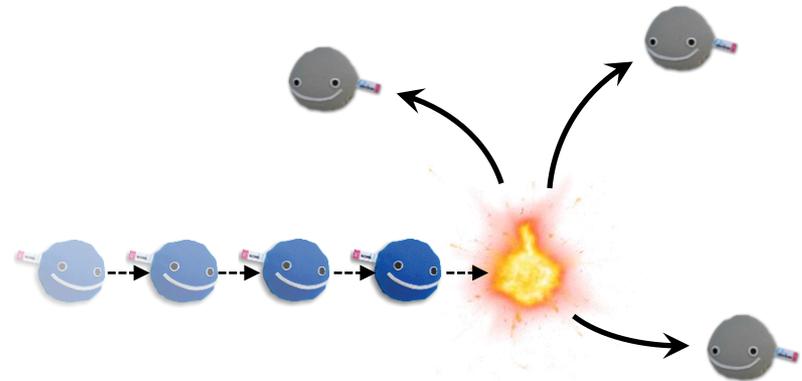
Der $\mu \rightarrow eee$ Zerfall

- LFV Zerfall $\mu^+ \rightarrow e^+ e^- e^+$ im Standard Modell stark unterdrückt ($BR \ll 10^{-50}$)
- Messbares Signal in vielen BSM Theorien vorhergesagt
- Bisheriges Limit: $BR \approx 10^{-12}$
- **Mu3e Experiment: $BR \approx 10^{-16}$**

Signal

2 Positronen + 1 Elektron:

- Mit gleichem Vertex
 - \Rightarrow Best mögliche Vertexauflösung
- Mit $\Sigma E_e = m_\mu$
 - \Rightarrow Best mögliche Impulsauflösung
- In koinzidenz
 - \Rightarrow **Best mögliche Zeitauflösung**

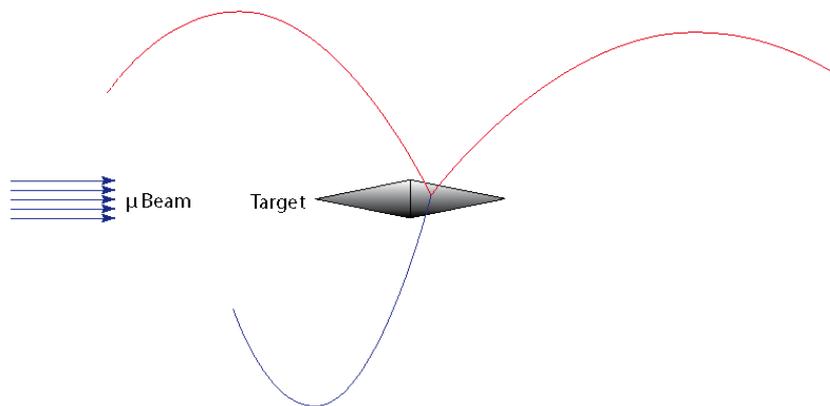
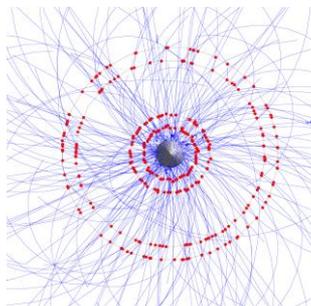




Das Mu3e Experiment

Hohe Raten

- Muonstrahl @ PSI
- Bis zu $2 \times 10^9 \mu/s$

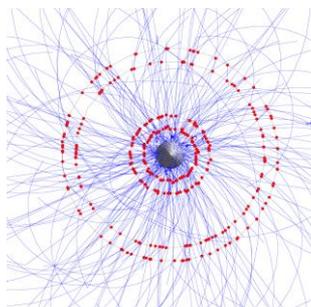




Das Mu3e Experiment

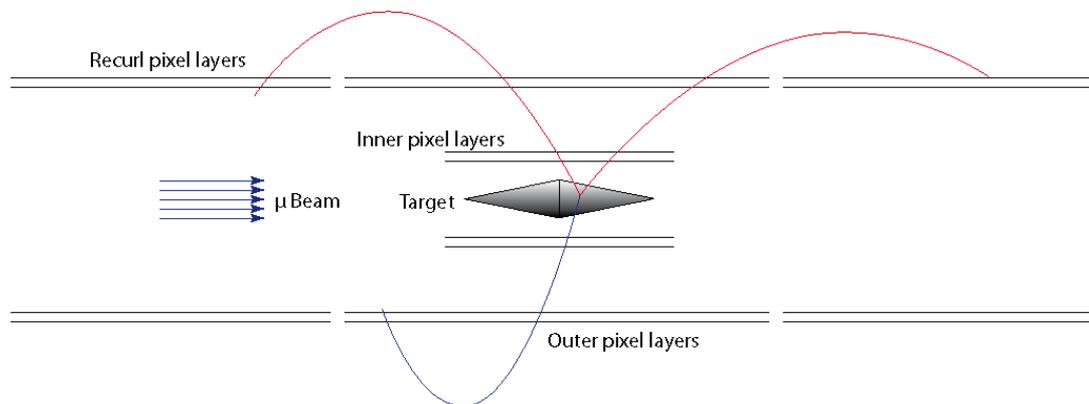
Hohe Raten

- Muonstrahl @ PSI
- Bis zu 2×10^9 μ/s



Tracking & Vertexing

- Impulsauflösung ≈ 0.3 MeV
 - Vertexpföfung ≈ 200 μm
- $\Rightarrow < 50$ μm dünne HV-MAPS

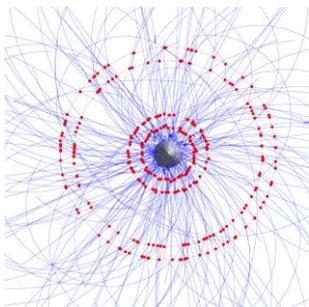




Das Mu3e Experiment

Hohe Raten

- Muonstrahl @ PSI
- Bis zu 2×10^9 μ/s



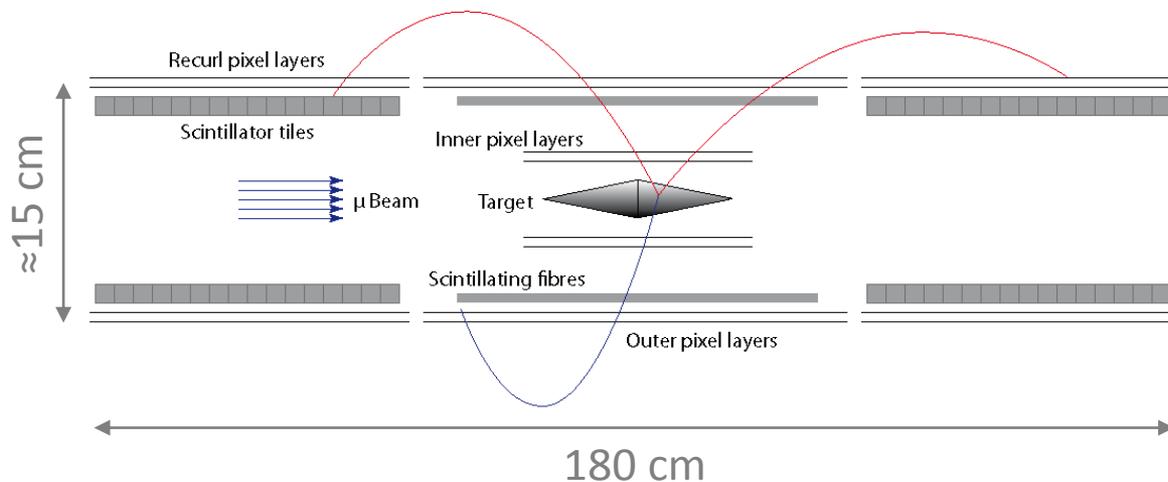
Tracking & Vertexing

- Impulsauflösung ≈ 0.3 MeV
 - Vertexpföpfung ≈ 200 μm
- \Rightarrow < 50 μm dünne HV-MAPS



Timing

- Zeitauflösung < 100 ps
- \Rightarrow Fibre Tracker (innen)
- \Rightarrow Tile Detektor (ausen)

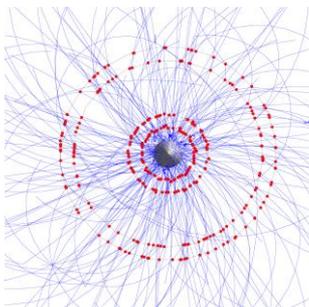




Das Mu3e Experiment

Hohe Raten

- Muonstrahl @ PSI
- Bis zu 2×10^9 μ /s



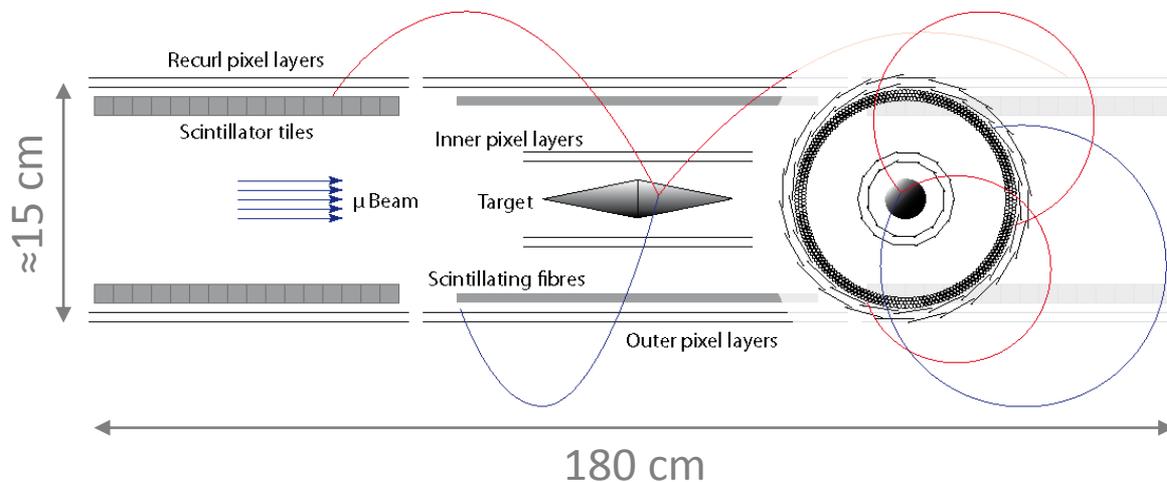
Tracking & Vertexing

- Impulsauflösung ≈ 0.3 MeV
 - Vertexpauflösung ≈ 200 μ m
- \Rightarrow < 50 μ m dünne HV-MAPS



Timing

- Zeitauflösung < 100 ps
- \Rightarrow Fibre Tracker (innen)
- \Rightarrow Tile Detektor (ausen)



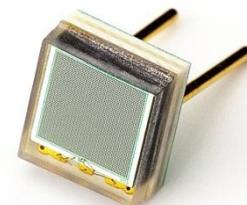
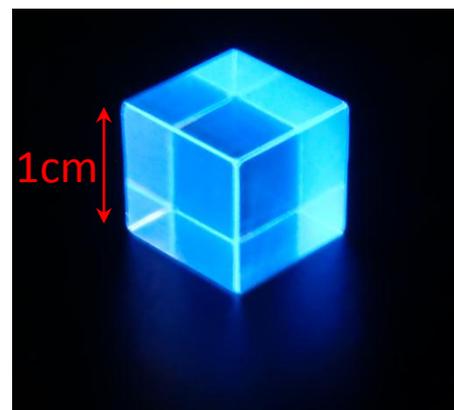
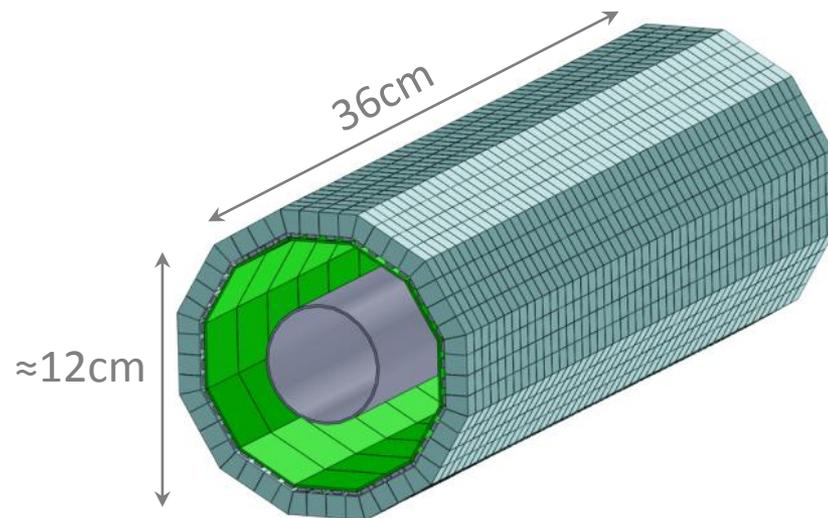


Mu3e Tile Detektor

- Szintillierende Kacheln – ca. $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$
- Auslese mit Silizium Photomultipliern
- Ca. 10.000 Kanäle
- Auslese-Elektronik direkt im Detektor

Herausforderungen

- Hohe Effizienz von $\approx 100\%$
- Sehr gute Zeitauflösung $< 100 \text{ ps}$
 - ⇒ Untergrund Unterdrückung $\approx 10^5$
- Hohe Raten bis zu 5 MHz pro Kanal
 - ⇒ Signal Pile-up



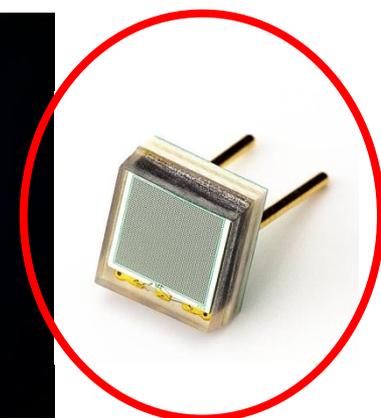
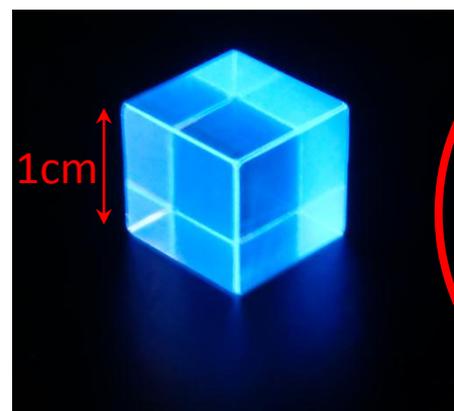
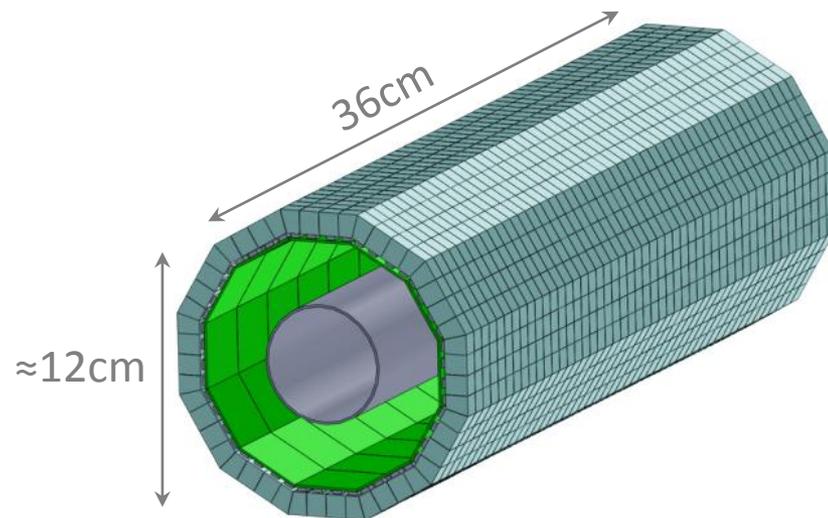


Mu3e Tile Detektor

- Szintillierende Kacheln – ca. $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$
- Auslese mit Silizium Photomultipliern
- Ca. 10.000 Kanäle
- Auslese-Elektronik direkt im Detektor

Herausforderungen

- Hohe Effizienz von $\approx 100\%$
- Sehr gute Zeitauflösung $< 100 \text{ ps}$
 - ⇒ Untergrund Unterdrückung $\approx 10^5$
- Hohe Raten bis zu 5 MHz pro Kanal
 - ⇒ Signal Pile-up



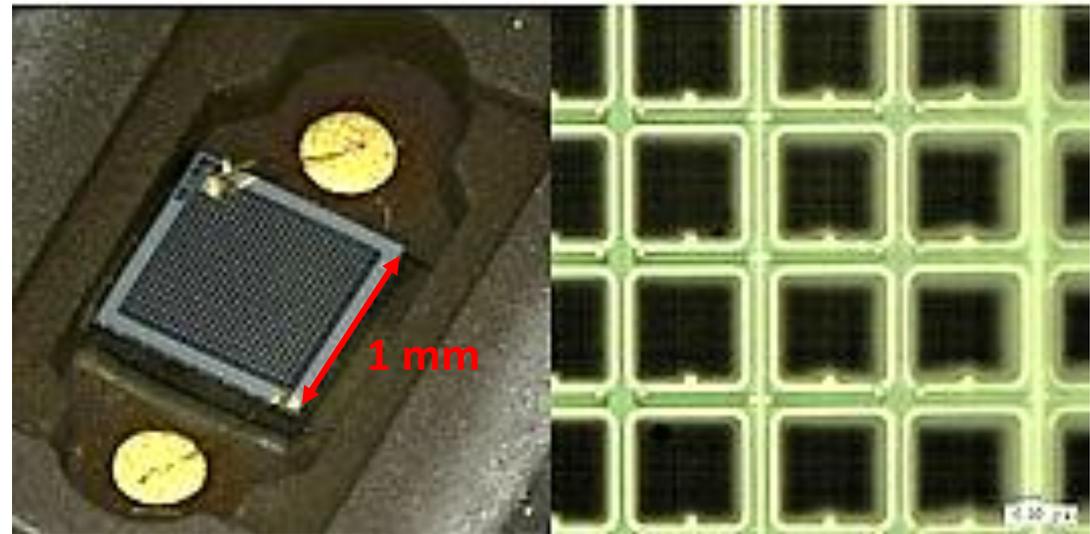


SiPMs

- Array aus APDs (typ. 100-2000 per mm²)
- Pixel Signal unabhängig von Anzahl Photonen
- SiPM Signal = Summe aller Pixel Signale

Eigenschaften

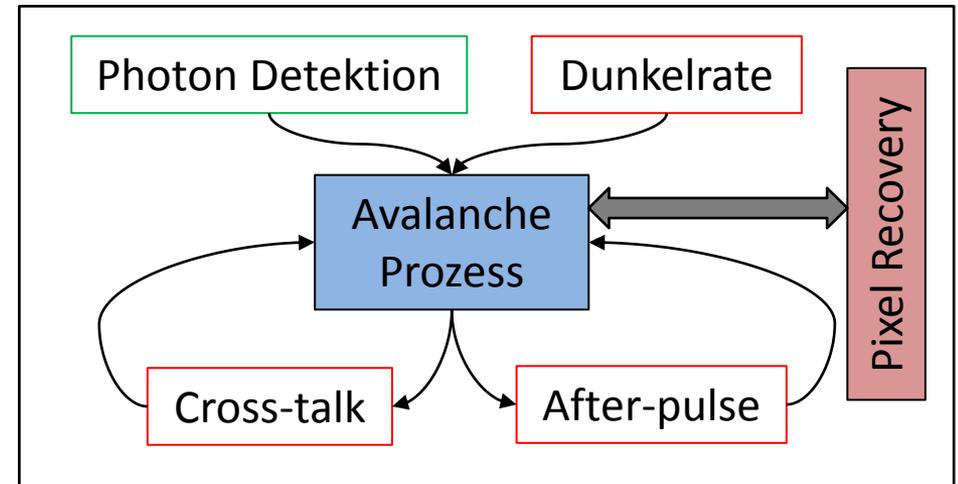
- Hohe Verstärkung
- Hohe Detektions-Effizienz
- **Sehr gute Zeitauflösung**
- **Kompakt**
- **Insensitiv gegenüber B-Feld**
- **Rauschen:**
 - Dunkelrate
 - Optischer Cross-talk
 - After-pulse
- **Nicht-lineares Ansprechen**
- **Temperatur Abhängigkeit**





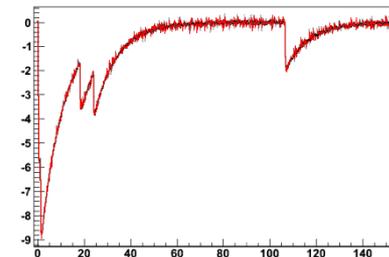
SiPM Simulation

- Grundlegende SiPM Parameters als Input
- Beliebiger Lichtpuls als Input
- Kombinierbar mit Geant4
- Model für ganzen dynamischen Bereich
- <http://arxiv.org/abs/1206.4154>



≈15 SiPM Parameter

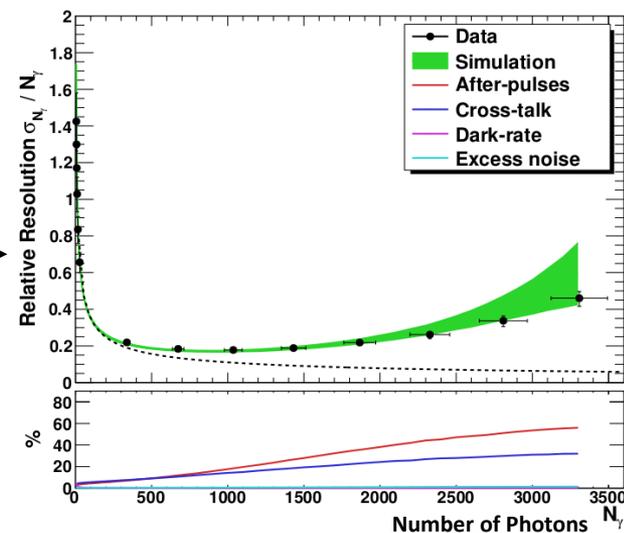
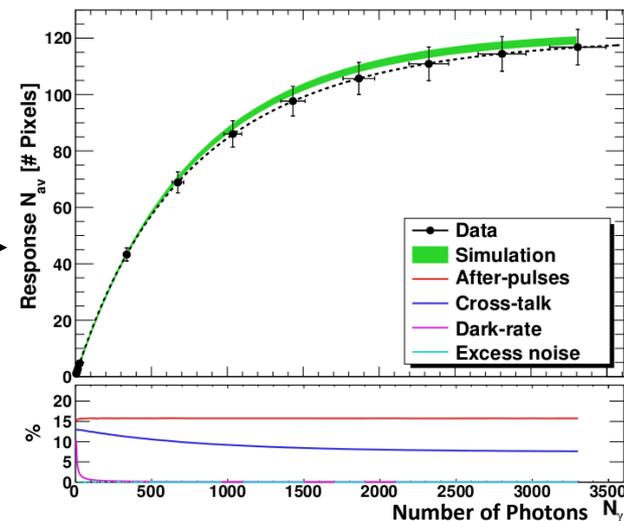
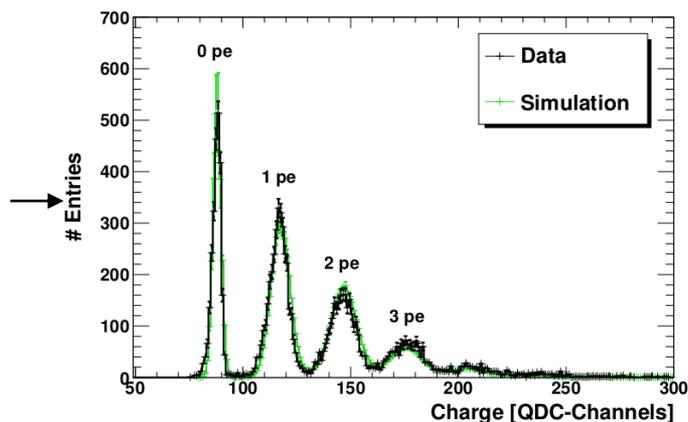
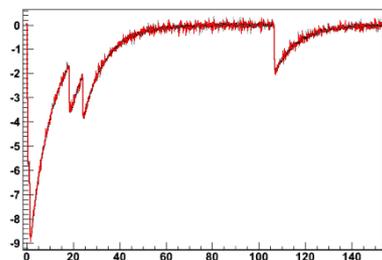
Lichtpuls Parameter
oder Geant4





SiPM Simulation

- Grundlegende SiPM Parameters als Input
- Beliebiger Lichtpuls als Input
- Kombinierbar mit Geant4
- Model für ganzen dynamischen Bereich
- <http://arxiv.org/abs/1206.4154>



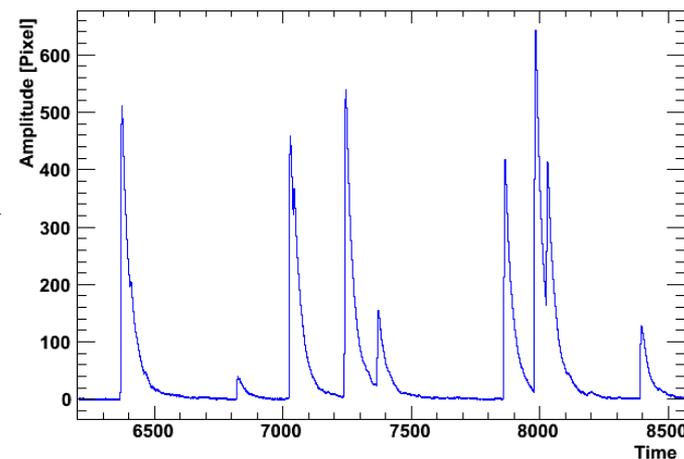
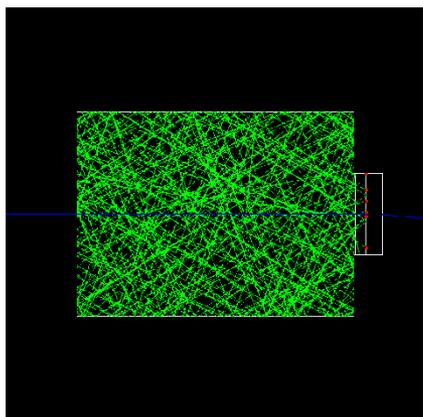
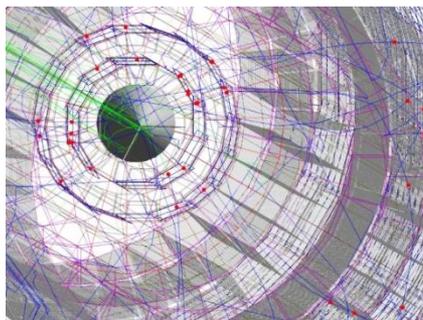


Detektor Simulation

- Geant4 + SiPM Simulation

⇒ Detektor Optimierung

⇒ Performance Studien





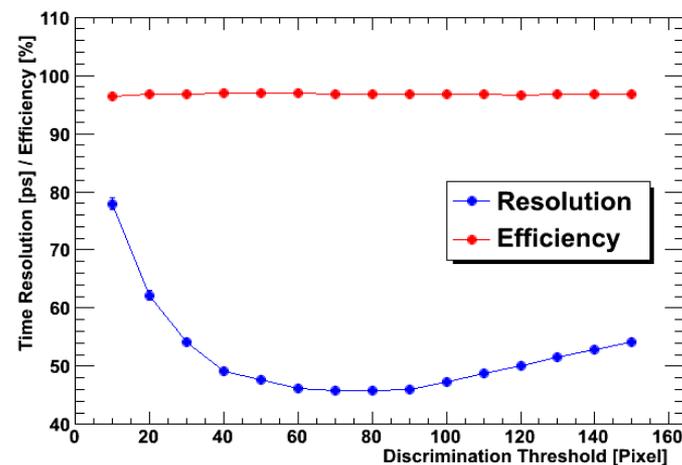
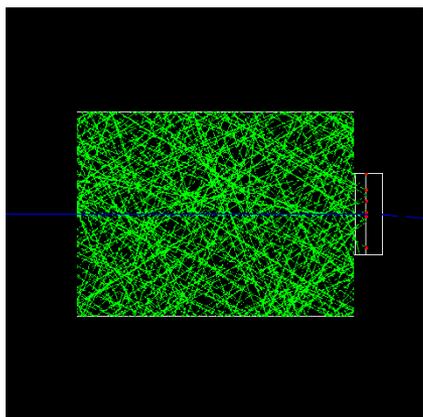
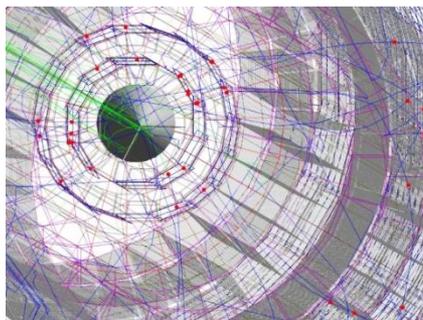
Detektor Simulation

• Geant4 + SiPM Simulation

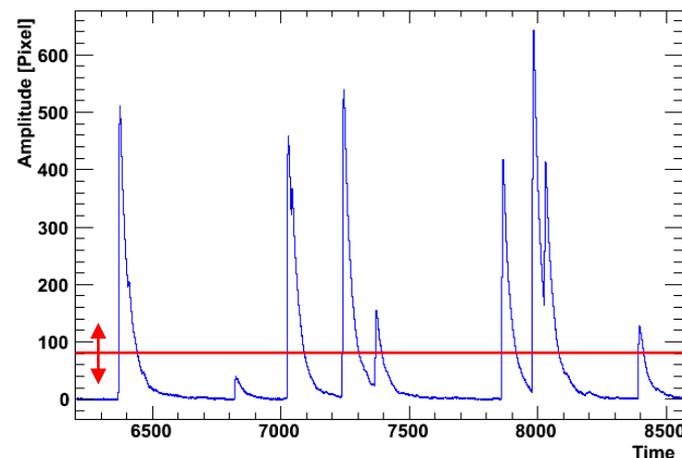
⇒ Detektor Optimierung

⇒ Performance Studien →

- Zeitauflösung ≈ 50 ps
- Effizienz $\approx 97\%$



Einfaches Elektronik-Model





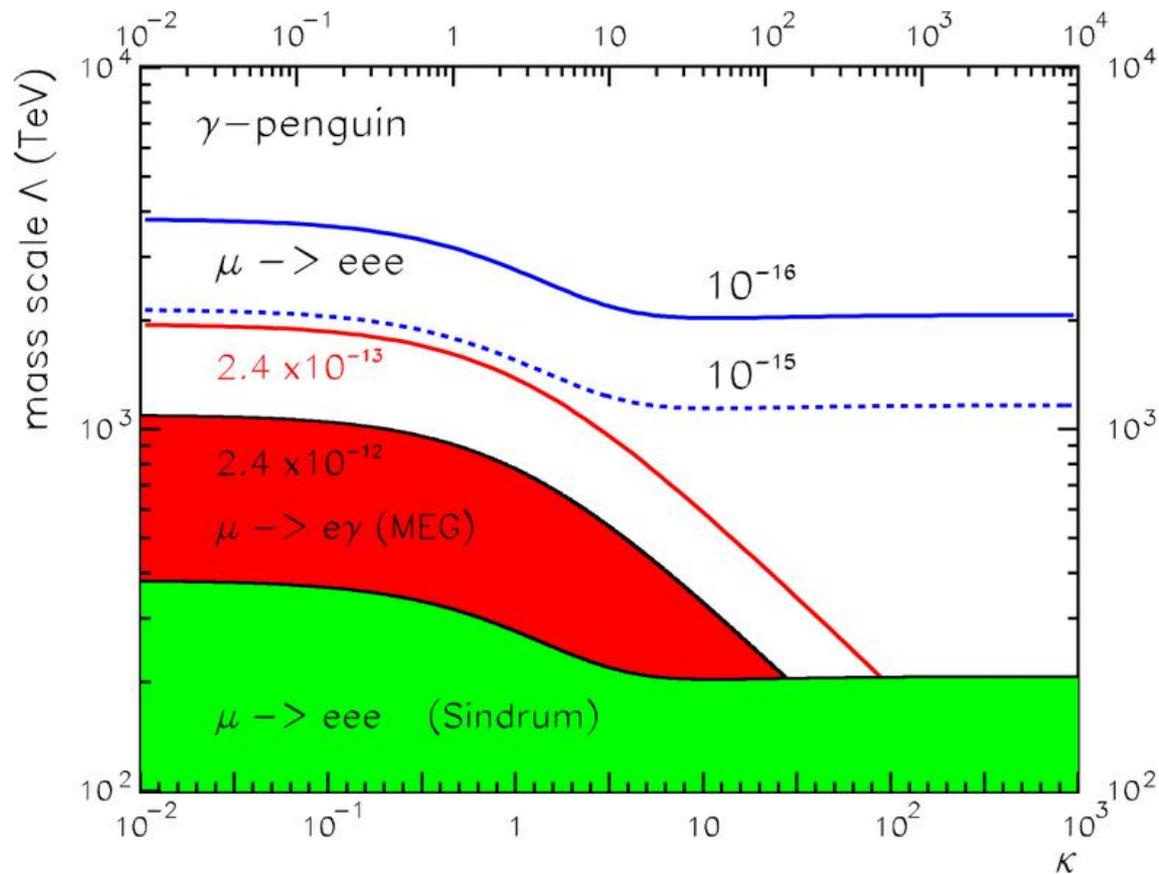
Zusammenfassung

- Mu3e Experiment: Suche nach neuer Physik mit $\mu^+ \rightarrow e^+ e^- e^+$
 - Angestrebte Sensitivität: Eins in 10^{16}
 - Tile Detektor für Zeitmessung mit bestmöglicher Auflösung (< 100 ps)
 - Detektor-Simulation inklusive SiPM Model
- ⇒ Erste Performance Studien:
- ⇒ ≈ 50 ps Zeitauflösung
 - ⇒ $\approx 97\%$ Effizienz (einfaches Auslesemodell!)



Kappa Plot

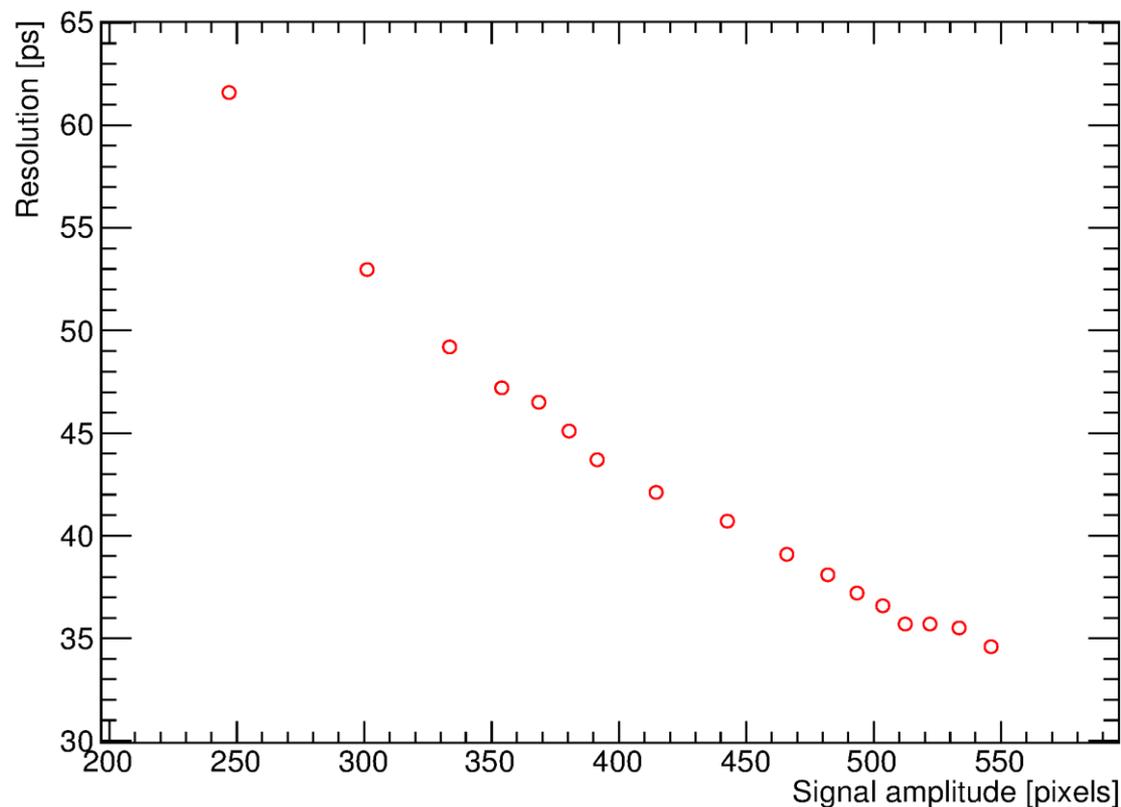
- Some information...
- Some information...
- Some information...





Erste Messungen

- Some information...
- Some information...
- Some information...





Backup

- Some information...
- Some information...
- Some information...

